

אוניברסיטת אריאל בשומרון

הפקולטה למדעי הטבע

ניתוח הסתברותי וסטטיסטי של מחזור הווסת בהיבט הלכתי

חיבור זה הוגש כחלק מדרישות התואר

"דוקטור לפילוסופיה"

מאת

דביר יעקב רוס

עבודה זו נכתבה בהנחיית

פרופ' עלי מרצבך

ד"ר אפרים שמרלינג

פרופ' אלכסנדר דומושניצקי

The image shows two handwritten signatures and a circular stamp. The top signature is in dark ink and appears to be 'עלי מרצבך'. Below it is another signature in a lighter ink, possibly 'אפרים שמרלינג'. To the right of these signatures is a circular stamp with some illegible text inside.

מוגש לסנאט אוניברסיטת אריאל בשומרון

סיוון התשפ"ב

תוכן עניינים

i	תוכן עניינים
iv	תקציר
1	מבוא
3	סקירת ספרות
3	חיזוי וסת
5	איגוד מצבים של שרשרת מרקוב
6	פרק א' – אמינות דיווחים על מחזורי וסת
8	שרשראות מרקוב לתיקוף נתונים
14	איגוד מצבים
16	סיכום ומסקנות
17	פרק ב' – סטטיסטיקה תיאורית ו'העונה הבינונית'
19	מדדי מרכז ופיזור
20	העונה הבינונית
24	עונת יום החודש
25	עונת ההפלגה
27	סיכום ומסקנות
28	פרק ג' – שכיחויות סוגי 'וסת קבוע'
29	וסת ההפלגה
33	וסת ההפלגה כווסת קבוע יחיד
34	וסתות דילוג
36	וסת השבוע
37	וסת השבוע בדילוג
38	וסת דילוג בתוך דילוג
42	וסת דילוג חוזר חלילה
43	בחינת אקראיות הנתונים – גישה הסתברותית
44	בחינת השערת אקראיות הנתונים – גישה דגימת התפלגות מולטינומית
48	סיכום ומסקנות
50	פרק ד' – האם הלכות וסתות הן חיזוי יעיל?
50	שינויי סוג קביעות וסת
53	יעילות הלכות וסתות כחיזוי וסת

59	השוואה לשיטות חיזוי מדעיות
60	סיכום ומסקנות
61	פרק ה' – האם יש תלות בין קביעת סוגי וסת קבוע?
61	התפלגות קביעות סוגי וסת לפי נשים
62	מבחני תלות בין סוגי קביעות וסת
65	סיכום ומסקנות
66	פרק ו' – האם יש שונות בין מחזורי הווסת של סוגי הקביעות השונים?
66	מבחני שונות בין נשים לפי סוגי קביעות וסת ואי קביעת וסת
71	מבחני שונות למחזורי וסת לפי סוג קביעות וסת
73	תרשימי התפלגויות של מחזורי וסת לפי סוג הווסת
75	התפלגויות מצטברות של מחזורי וסת לפי סוג הווסת
76	סיכום ומסקנות
77	פרק ז' – שרשרת מרקוב לווסת ההפלגה
77	רקע הלכתי
79	בניית שרשרת מרקוב לווסת ההפלגה
82	מערכת המצבים
88	התפלגות המצב היציב של המערכת
90	ניתוח התפלגות המצב היציב
92	הצבת נתונים
94	סיכום ומסקנות
95	פרק ח' – שרשראות מרקוב לווסת חצי קבוע
95	רקע הלכתי
95	שרשרת מרקוב לווסת לא קבוע ולווסת חצי קבוע
102	חלוקה לפי סוגי וסת חצי קבוע
104	מבחנים סטטיסטיים לשונות בין קבוצות נשים לפי סוגי וסת חצי קבוע
108	שרשראות מרקוב נפרדות של סוגי וסת חצי קבוע
111	סיכום ומסקנות
112	הסקת מסקנות
112	שימוש בסקרים אינטרנטיים למחקר מדעי על מחזור הווסת
112	שכיחויות קביעות וסת מתארות תופעה או מקריות?
113	הלכות וסתות ככלי לחיזוי וסת

117	משמעותיות וסת ההפלגה.....
119	הגברת מודעות להלכות וסתות.....
119	תלות ושונויות של סוגי קביעות וסת.....
120	תיאור מצבים הלכתיים באמצעות שרשראות מרקוב.....
121	משמעות לרפואה ולחיזוי וסת.....
122	סיכום.....
124	נספחים.....
124	נספחים לפרק ב'.....
126	נספחים לפרק ג'.....
128	נספח לפרקים ג', ה'.....
130	נספח לפרק ד'.....
131	נספחים לפרק ה'.....
136	נספחים לפרק ו'.....
145	נספחים לפרק ז'.....
151	נספחים לפרק ח'.....
156	רשימה ביבליוגרפית.....
i	Abstract.....

תקציר

חיזוי אורך מחזור הווסת הוא נושא שהעיסוק והעניין בו מרובים וקדומים. בספרות ההלכה היהודית מצויים כללים המפרטים את התאריכים בהם משוער שיגיע הווסת, כללים אלו נקראים הלכות וסתות.

עבודת חקר זו היא הראשונה שבוחנת את כללי הלכות וסתות בכלים סטטיסטיים מודרניים, ומניחה את התשתית למידול הסתברותי וסטטיסטי של המצבים השונים המתוארים בספרות ההלכה.

בפרק א' נערכת בחינה של אמינות דיווחי נשים בסקרים אינטרנטיים על מאפייני מחזור הווסת, ומוצג מודל הסתברותי שמשמש ככלי לתיקוף נתונים.

בפרקים ב'-ד' נבחנות השכיחויות של התופעות השונות שמתוארות בספרות ההלכה, במאגר נתונים מחקרי מבוקר. בעזרת סימולציה נדחית השערת האפס ששכיחויות התופעות הן תוצאה של אקראיות, ונבחנת איכות חיזוי וסת על פי הכללים מהלכות וסתות.

בפרקים ה'-ו' נערכים מבחנים סטטיסטיים לבדיקות תלות ושונות בין סוגי התופעות.

בפרק ז' מוצג ונחקר מודל הסתברותי שמתאר את המצבים ההלכתיים של התופעה שנקראת וסת ההפלה.

בפרק ח' מוצגים מודלים דומים שנבנים בגישה סטטיסטית, המתארים את המצבים ההלכתיים של התופעה שנקראת וסת חצי קבוע, למודלים אלו מותאמים נתונים ממאגר הנתונים.

לאורך השנים נעשו מחקרים רבים על הקשרים בין היהדות והמתמטיקה, בשלל נושאים הכלולים בשני תחומים אלה, ועל מידול של "בעיות" מהיהדות באמצעות מתמטיקה. בפרט, הקשרים בין מקורות תורניים להסתברות וסטטיסטיקה זכו להתייחסות ממוקדת. הרב פרופ' נחום אליעזר רבינוביץ' (מקורות כא, 50-55) ופרופ' עלי מרצבך (מקורות ד-ו, ט-יח, 43) ראויים לציון בתור חוקרים בולטים בתחום זה.

המחקר ההסתברותי והסטטיסטי בתחום של הלכות וסתות דל מאוד. למעשה, הצלחתי למצוא מאמר מדעי בודד שמציג גישה הסתברותית ביחס לנושא זה (מרצבך והרשקוביץ, תשע"א), אך במאמר שמצאתי החלק ההסתברותי של הלכות וסתות מגיע על מנת לסייע בנושא אחר, ולכן לא מוצג בו מחקר מעמיק על הגישה ההסתברותית של חז"ל כלפי מחזור הווסת.

במחקר הנוכחי ברצוני להציג לראשונה את הגישות ההסתברותיות והסטטיסטיות של חכמי היהדות, עם כלים מתמטיים שמוכרים היום, תוך שיום וכימות מונחים מכללי ההלכה היהודית בשפה מתמטית.

שאלת החקר שמהווה את הבסיס למידול ההסתברותי ולניתוח חיזויי וסת היא :

- כיצד ניתן לתאר את המצבים ההלכתיים השונים והמעברים ביניהם בצורה מתמטית?

שאלות החקר שמתייחסות לממצאים ולאיכות נתונים הן :

- כיצד ניתן לתקף נתונים משאלונים אינטרנטיים כדי שיוכלו להוות בסיס למחקר מהימן על מחזורי וסת?

- האם הלכות וסתות מתארות תופעות שקיימות כיום?

- האם ואילו תופעות התקבלו כבעלות שכיחות שדומה למצופה ממדגם אקראי?

שאלות החקר שמתייחסות לניתוח סטטיסטי הן :

- האם איכות החיזוי של וסת, לפי הכללים שנקבעו בהלכה, נחשבת לטובה כיום?

- האם קיימת תלות בין סוגי קביעות וסת?

- האם יש שונות בין מאפייני התופעות?

שאלות היישום של מחקר זה הן :

- האם ולאיזה תופעות שנזכרו בהלכה כדאי להגביר מודעות, או שמא חוסר מודעות מועיל?

- האם ניתן להציע למחקר הרפואי והסטטיסטי שיפורים לפי הקריטריונים שהוצעו בהלכות וסתות?

בתהליך של מידול הסתברותי של התופעות שתוארו בכתבי ההלכה היהודית, יוצגו החידושים הבאים :

1. הצגת מודל הסתברותי שמשמש לתיקוף נתונים.

2. בניית מודלים הסתברותיים שמתארים מצבים הלכתיים מהלכות וסתות.

3. שימוש בגבולות מרובי משתנים, עם קשר בין המשתנים, לצורך ניתוח התפלגות המצב היציב של שרשרת מרקוב.

בתהליך של ניתוח סטטיסטי שיטתי ומסודר של מאגר נתונים מבוקר, יוצגו החידושים הבאים :

1. תיקוף התופעות שנמצאות בכתבי ההלכה היהודית ונתינת מפה כוללת של המציאות העדכנית.
 2. בחינת אקראיות נתוני התופעות מהלכות וסתות.
 3. התייחסות להלכות וסתות בתור אמצעים לחיזוי וסת, כולל נתינת חוות דעת מבוססת מדעית על יעילות אמצעי החיזוי.
 4. שימוש במבחנים סטטיסטיים לבדיקת תלות ושונות בין התופעות שמתוארות בספרות ההלכה.
 5. בניית מודלים סטטיסטיים שמתארים מצבים הלכתיים מהלכות וסתות.
- מחקר זה, גם אם אינו שלם, מהווה אבן יסוד פורצת דרך, שמתווה את הצורה שבה יהיה נכון להמשיך לחקור את התחומים האלו.

יכולת חיזוי אורך מחזור הווסת¹ ושלביו חשובה עבור התמודדות עם בעיות פוריות ותכנון המשפחה (Garcia et al, 1981). באפידמיולוגיה עולה ההכרה בחשיבות של ניתוח תפקוד הווסת בכלל ואורך מחזור הווסת בפרט (Harlow & Campbell, 2000). מלבד תופעות חולי הקשורות להפרעות בסדירות מחזור הווסת עצמו, נערכים מחקרים מדעיים על הקשר בין מאפיינים של מחזור הווסת ובין רמות הסיכון לחלות במגוון מחלות כגון בריחת סידן, סרטן, מחלות לב וכלי דם (Harlow et al, 1995).

גורמים רבים יכולים להשפיע על מאפייני מחזור הווסת, ביניהם נתונים דמוגרפיים ורמת חיים (Liu et al, 2004), הפרעות אכילה (Poyastro Pinheiro et al, 2007), לחץ, משקל (Harlow & Matanoski, 1991), פעילות גופנית (Bernstein et al, 1987) ומוצא אתני (Paramsothy, 2012)². ישנם גורמים שלגבי השפעתם יש מחלוקת במחקר המדעי, לדוגמה תופעת סנכרון הווסת ביחס לחברה בה נמצאת האישה, הנקרא אפקט מקלינטוק (מקורות 66-67, 49, 41).

שיטות רבות לחיזוי אורך מחזור וסת מופיעות במחקר המדעי (מקורות 15, 18, 20, 23, 25, 32, 34-39), שיטות אלה מתייחסות למאפיינים רבים ונעזרות בכלים סטטיסטיים מתקדמים. הארלו וזגר (Harlow & Zeger, 1991) הציעו שהתפלגות אורך מחזור הווסת היא שילוב של התפלגות סימטרית עיקרית עבור מחזורי וסת סטנדרטיים, ועם רכיב של זנב ימני ארוך עבור מחזורי וסת לא סטנדרטיים. מחזורי וסת סטנדרטיים מנותחים בכלים סטטיסטיים נורמליים, כמו למשל ניתוחי שונות חוזרים (Repeated measure analysis of variance). לדוגמה הארלו וזגר (Harlow & Zeger, 1991) וגם הארלו ומטאנוסקי (Harlow & Matanoski, 1991) הגדירו מחזורי וסת סטנדרטיים בתור מחזורי וסת באורך קטן או שווה ל-43 ימים, והשתמשו במודלים לינאריים מרובי גורמים, כדי לבחון את ההשפעות המשותפות על ממוצע אורכי מחזורי הווסת. לין ואחרים (Lin et al, 1997) הרחיבו את המודל הלינארי המשולב, להכללת ההטרונגניות בין השונות שיש למחזורי וסת סטנדרטיים אצל אישה בנפרד. עבור מחזורי וסת לא סטנדרטיים, הארלו, לין והו (Harlow, Lin & Ho, 2000) העריכו את השפעת הגיל על ההסתברות למחזור וסת לא סטנדרטי בעזרת נוסחת שיערוך מוכללת.

על בסיס חלוקה להתפלגות מותנית של מחזורי וסת סטנדרטיים ולא סטנדרטיים, הציעו גואו ואחרים (Guo et al, 2010) מודל שמשלב התפלגות נורמלית והתפלגות וייבול מוסטת, שיתרונם הוא שאין צורך בערך סף (Cutoff) שרירותי, אלא מסווגים בו את סטנדרטיות מחזורי הווסת לפי איתור גורמים מסוימים שמשפיעים על התפלגות אורך מחזור הווסת.

¹ הערה לשונית ראשונה: על פי האקדמיה ללשון עברית, ו' עיצורית בתחילת מילה אינה נכפלת, אלא אם קדמו לה אותיות משה"ה, כל"ב. לכן לדוגמה כתוב "מחזור הווסת" עם כפילת האות ו', וכתוב "מחזורי וסת" ללא כפילת האות ו'. כך גם עבור המילה "וקטור". הערה לשונית שנייה: המילה וסת נחשבת לזו"נ, כלומר ניתן להתייחס אליה גם כאל זכר וגם כאל נקבה. כדי להיות עקבי עם הכתיבה בספרות ההלכה על "וסת קבוע", כל אזכורי הווסתות בעבודה זו יקבלו התייחסות של זכר.

² בספרות ההלכה קיימת התייחסות לשונות רפואית שיש בין גופים מאוכלוסיית אוכלי "שקצים ורמשים" לבין גופים יהודיים. בניתוח הסטטיסטי של מחקר זה אין מידע על פרטים אלו, מכיוון שכך לא נוכל להתייחס לפרט זה. ההערכה היא שבמידה וקיים הבדל, הוא היה מוביל לתוצאות חיזוי וסת טובות מהתוצאות שמופיעות במחקר זה, ולמובהקות גבוהה יותר של המבחנים הסטטיסטיים.

הואנג ואחרים (Huang et al, 2014) ניסו למדל את השינויים בממוצע ובשונות של אורכי מחזורי הווסת, במהלך ההתקרבות להפסקת הווסת (Menopause). בעזרת מודל נקודת שינוי (Change-point model), הם מצאו הבדלים בקצבי השינויים השנתיים של הממוצעים ושל שונות אורכי מחזורי הווסת, שמצביעים על התחלת מעבר אל הפסקת הווסת.

בגישת חיזוי וסת, בורטוט ואחרים (Bortot et al, 2010) התמקדו בהיבט הדינמי של אורך מחזור הווסת לאורך זמן. על ידי שימוש בגישת מידול שמתייחסת למרחב מצבים, הם גזרו התפלגות עבור חיזוי אורך מחזור וסת, שנתונה על פי סדרות עתיות של מחזורי וסתות העבר. במודל, הם עשו שימוש בממוצע נע אוטורגרסיבי (ARMA) עם התייחסות למגמה, אוטוקורלציה ואורכים קצרים וארוכים בולטים. עבור התאמת החיזוי לנשים בודדות הם עשו שימוש במודל בייסיאני הירארכי, ובחישובים הם נעזרו באלגוריתם שרשרת מרקוב מונטה קרלו (MCMC). בזכות שילוב של נתונים מדגימות בשלב הפוליקולרי במודל הסדרות העתיות, הם פיתחו מערכת שמשערכת את ההסתברות להתעברות, שמותנית בצורת ניהול יחסי מין במהלך מחזור הווסת.

מקליין ואחרים (McLain et al, 2012) הציעו מודל פרמטרי, שמשער תערובת של התפלגות נורמלית והתפלגות שגיאה גאמבל (Gumbel), ומשלב גורמים אקראיים ושונות על הממוצע והשונות של הרכיב הנורמלי. הם הניחו התפלגויות שגיאה לוג-נורמליות בהתייחסות לחוסר קביעות של השונות (Heteroscedasticity).

בהתבסס על עבודות אלו, לום ואחרים (Lum et al, 2015 & 2016) הציעו מודל משולב הירארכי בייסיאנית, האצת זמן כשל (Accelerated failure time model) והתפלגות שגיאה משולבת.

פוקאיה ואחרים (Fukaya et al, 2017) השתמשו עבור חיזוי שלבי מחזור הווסת, במרחב מצבים שמתייחס לטמפרטורת הגוף במנוחה (Basal Body Temperature). הם העריכו את שלב מחזור הווסת כמשתנה סמוי (Latent variable) ואת ההתקדמות היומית בין שלבי מחזור הווסת, למשתנה שמתפלג גמא. הם נעזרו באלגוריתם סינון בייסיאני ליצירת התפלגויות מוחלקות.

בהלכות וסתות ניתן למצוא התייחסויות לגורמים רבים שצוינו במחקרים המדעיים מהשנים האחרונות, והציגו גישה מעט שונה אך דומה:

1. בדומה לסיווג מחזורי וסת לסטנדרטיים ולא סטנדרטיים, בהלכות וסתות יש סיווג של סדרות מחזורי וסת לפי סוגי "וסת קבוע" ו"וסת לא קבוע".
2. בדומה לשיוך סדרות אורכי מחזורי וסת למרחב מצבים, על מנת לחזות את אורך מחזור הווסת הבא, בהלכות וסתות על פי כל מצב הלכתי נקבעים ימי חיזוי שבהם יש להימנע מקיום יחסים אינטימיים ("פרישה סמוך לווסת").
3. בדומה להתייחסות לתקופת הפסקת הווסת, בהלכות וסתות מוצאים התייחסות ל"זקנה".
4. בדומה להתחשבות בהטרוגניות בין השונות שיש למחזורי וסת סטנדרטיים אצל אישה בנפרד, בהלכות וסתות מוצאים התייחסות לאישה ש"משנית את וסתה" ולאישה שנתונה במצב לחץ ("נחבאת במחבוא").

מרחב מצבים של שרשרת מרקוב עשוי להיות גדול מכדי שיהיה ניתן לבצע חישובים נומריים על מטריצת המעברים של המערכת³. במקרים כאלו יש צורך לבצע צמצום של מצבי המערכת, בפרט עבור מציאת המצב היציב של המערכת (Feinberg & Chiu, 1987). בוכהולץ (Buchholz, 1995) והרמנס (Hermanns, 2009) הציגו טכניקות שמשתמשות בסימטריות והיררכיות של תתי מערכות. שיטה מרכזית עבור צמצום מצבים נעזרת בתכונת האיגודיות (Lumpability) של מעברי המערכת. את הגדרת התכונה נשמור לגוף העבודה, כאן נסתפק במשמעות שלה: ניתן לאגד מצבים, אם הסתברויות המעבר מהם לשאר מצבי המערכת זהות, ואם הסתברויות המעבר אליהם משאר מצבי המערכת זהות.

קמני וסנל (Kemeny & Snell, 1976) הציגו לראשונה את הגרסה החזקה של איגודיות. יחד איתה הם הציגו גרסה חלשה של תכונת האיגודיות (Weak lumpability), שעבורה מערכת ניתנת לצמצום כך שתתקבל שרשרת מרקוב עבור מצבים התחלתיים מסוימים בלבד. התנאים לשימוש בגרסה החלשה התבררו בהמשך במספר מחקרים (מקורות 1, 46, 59-61).

אפשרות נוספת של צמצום מצבים, המתבססת על תכונת האיגודיות, משתמשת בתכונה של שרשרת מרקוב כמעט ניתנת לאיגוד (Nearly lumpable). תכונה זו מאפשרת לפצל את מעברי המערכת המקורית ל-2, חלק אחד שניתן לאיגוד, וחלק נוסף שלא ניתן לאיגוד אך השפעתו נמדדת ביחס לקבוע קטן מספיק (מקורות 8, 63, 65). אפשרות זו שימושית בתורת ההפרעות. באפשרות הזו, רק כאשר מתקיימת תכונה הנקראת איגודיות מדויקת (Exact lumpability), ניתן לחשב את המצב היציב של המערכת.

ראויות לציון שתי שיטות שאינן משתמשות בתכונת האיגודיות: בוכהולץ (Buchholz, 1999) הציג טכניקה המשתמשת במכפלה טנזורית על מנת לשלב מספר מרחבי מצבים של מספר שרשראות מרקוב במקביל. בארטו ופראגוסו (Barreto & Fragoso, 2011) הציגו פיצול של מטריצה שאינה ניתנת לאיגוד, לשתי מטריצות סטוכסטיות ופעולות עליהן.

³ לדוגמה בפרק ז' יש התייחסות למערכת שעשויה להגיע לגודל של מאות אלפי מצבים.

הכרת המציאות בנוגע למחזור הווסת הנשי משפיעה על תחומים רבים, ביניהם ההתייחסות הרבנית להלכות הקשורות במחזור הווסת. כדי לאבחן את המציאות ואת ההכרה בה בקרב הרבנים והנשים, הופץ שאלון באמצעי תקשורת אינטרנטיים שונים (יישומון Whatsapp, אתר Facebook וכדומה). התקבלו 632 תגובות ולאחר סינון תגובות בעלות סתירות פנימיות, נערך ניתוח של 626 תגובות.

השאלון התייחס לנושאים מגוונים: סיווג ושכיחות סימנים מקדימים להגעת וסת, משך הדימום הווסתי, אורך מחזור הווסת, תופעות דימום נרתיקי במהלך הריון, זמן חזרת מחזור הווסת לאחר לידה ותופעות שמתארות חוקיות בין אורכי מחזורי הווסת.

בעבודה זו לא נתייחס לכלל הנושאים שנשאלו, אלא לבעיות שנמצאו בתהליך תיקוף הנתונים שהתקבלו, בכלל, ובהכרה של נשים את מצבן ההלכתי בפרט.

עבור השאלה "להערכתך, מה ההפרש בין המחזוריים שלך בדרך כלל?", התקבלו הנתונים המוצגים בגרף הבא:



בתרשים זה יש שתי תופעות המעידות על בעייתיות בנתונים שהתקבלו:

- א. במקום עקומת פעמון של התפלגות נורמלית עם זנב ימני, מתקבלת עקומה הדומה לשן, עם שתי פסגות ב-28 ו-30. זהו שיחזור תוצאות של מחקר שנערך בקאפה סטטיסטי, בכדי להראות את הבעייתיות של נתוני מחזורי וסת המתקבלים מדיווחים של נשים (Jukic et al, 2007).
- ב. במספרים בעלי ספרת אחדות 0 ו-5 התקבלו נתונים רבים ביחס לאחרים. תופעה המציגה "עיגול" של הנתונים.

⁴ תוכן פרק זה התפרסם כמאמר בכתב עת שפיט: ד. רוס: "אמינות דיווחים על וסתות בהקשר הלכתי", Functional differential equations, 26.1-2 (2019), 1-13.

שתי תופעות אלו מעלות את החשש להזנת נתונים שגויים. בעקבות חשד זה, הוחלט לבחון את מידת ההתאמה של דיווחי הנשים על סדירות מחזור הווסת שלהן לקביעת וסת.

רקע תורני

אחת מבין התופעות הנזכרות בספרות התורנית, המתארות סוגים שונים של חוקיות בין אורכי מחזורי הווסת, נקראת 'וסת ההפלגה'. וסת הפלגה קבוע מתאר אישה שאורכי מחזורי הווסת שלה שווים. ההגדרה ל'וסת הפלגה קבוע'⁵: אם נסמן $\forall i \geq 0$ ב- w_i את אורך מחזור הווסת בין וסת i לווסת $i + 1$, וסת הפלגה נקבע אם מתקיים $w_i = w_{i+1} = w_{i+2}$.

על פי שולחן ערוך, יורה דעה, קפ"ט, יג קבעו רוב פוסקי ההלכה המוכרים, שווסת הפלגה קבוע נקבע דווקא אם הווסתות בעלי ההפרשים הזהים ביניהם הגיעו ב'עונות' זהות. כלומר, כדי שאישה תקבע וסת, הווסתות צריכים להיות כולם ביום או כולם בלילה.⁶

כדי שאישה תעקור⁷ את וסת ההפלגה הקבוע שלה, נדרש שתהיינה 3 סטיות רצופות מאורך מחזור הווסת הקבוע. כלומר, לאחר הווסת ה- i ההפרשים שייווצרו על ידי 3 הווסתות הבאים יהיו שונים מההפרש האחרון שהיה באורך של הווסת הקבוע w_i , ויתקיים: $w_i \neq w_{i+1}$ וגם $w_i \neq w_{i+2}$ וגם $w_i \neq w_{i+3}$.

אם לאחר שנעקר וסת קבוע, חזר לאישה וסת בהפרש הימים של הווסת הקבוע האחרון שהיה לה, חוזר מעמדה ההלכתי להיות של אישה בעלת וסת קבוע.⁸ כלומר, בהינתן ש- w_i היה הפרש הווסתות הקבוע האחרון, אם קיים $j > i + 3$ כך ש- $w_j = w_i$, חוזר המצב ההלכתי של הווסת הקבוע באורך w_i .

⁵ שולחן ערוך, יורה דעה, קפ"ט, ב: "כיצד קובעתו? כגון שתראה ארבע פעמים וביניהם שלשה זמנים שווים".
⁶ לצורך מחקר זה נתייחס לסטייה מעונת היום או הלילה כאל שינוי היום. שינוי היום יחושב בעזרת עיגול כלפי מעלה עבור איחור של עונה, ועיגול כלפי מטה עבור הקדמה של עונה. לדוגמא, להפרש בין וסת ביום לווסת המגיעה לאחר 29.5 ימים ניתן להתייחס כהפרש של 30 יום.

⁷ עקירת וסת משמעותה הפסקת המעמד ההלכתי של קביעות וסת.

⁸ שולחן ערוך קפ"ט, טו: "ואם חזרה לראות ביום הווסת הראשון, חוזר לקביעותו הראשון וחוששת לו..."

נשים בעלות וסת הפלגה קבוע

עבור השאלה "נסי לחשוב על תקופות בחיך בהן לא היו הפרעות משמעותיות למחזור (הריונות, אמצעי מניעה וכדומה), האם המחזור הגיע בהפרשים קבועים?" נתמקד בנשים שענו "בדרך כלל המחזור מגיע באותו הפרש". מתוכן נתמקד בנשים שענו שהן מכירות את וסת ההפלגה.

לאחר מיקוד זה, נותרו 79 נשים שענו שהן מכירות את וסת ההפלגה ובדרך כלל מחזורי הווסת שלהן באורכים זהים. הגורם שעלול למנוע מאישה בעלת קריטריונים אלו להגיע למצב של וסת הפלגה קבוע, הוא הבדלים בזמני היום שבהם מגיע הווסת – יום או לילה.

מתוך 79 הנשים האלו, 14 דיווחו על כך שהן קבעו וסת הפלגה, כ-17.7%. הנתון נראה לא סביר, לשם כך נרצה לברר את ההסתברות לכך שהבדלי יום ולילה ישבשו את תהליך קביעת הווסת.

שרשראות מרקוב לסטיות יום ולילה

שרשרת מרקוב (Markov Chain) היא מודל הסתברותי המשמש לתיאור התפתחות של תהליכים כסדרה של מצבים. מערכת מוגדרת כמערכת מרקובית, אם המידע שנתון על כל מצב מבין מצבי המערכת, מספיק לצורך חישוב הסתברויות המעבר ממנו למצבים עתידיים. כלומר, אין צורך להתחשב בדרך שבה המערכת הגיעה למצב מסוים, שכן מידע זה לא יועיל בניבוי העתיד.

שרשרת מרקוב מסדר 1 היא תהליך סטוכסטי, כלומר סדרה של משתנים מקריים $X_1, X_2, X_3 \dots$ המקיימת את תכונת מרקוב: ההתפלגות של המשתנה המקרי ה- $n+1$, בהינתן כל ערכי המשתנים שקדמו לו, שווה להתפלגותו בהינתן ערך המשתנה ה- n בלבד (האחרון):

$$\forall n \geq 0: P(X_{n+1} = j | X_0 = i_0, X_1 = i_1, \dots, X_n = i_n) = P(X_{n+1} = j | X_n = i_n)$$

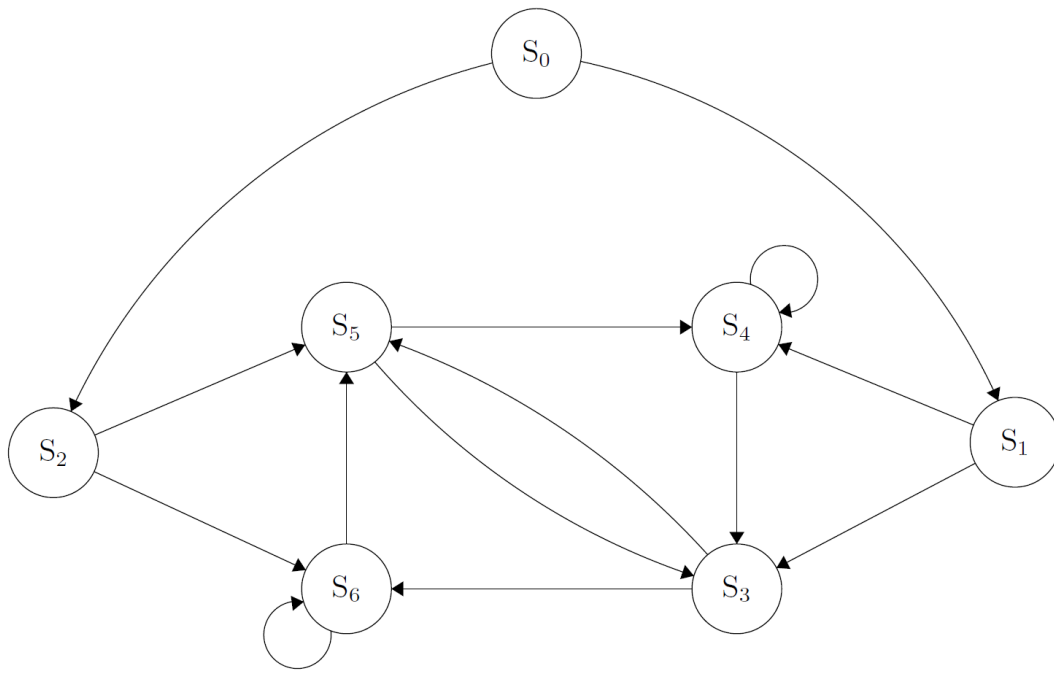
כאשר הערכים $\{i_0, i_1, \dots, i_n\}$ ו- j מייצגים את הערכים שיכולים להתקבל עבור המשתנים המקריים X_0, X_1, \dots, X_n ו- X_{n+1} בהתאמה. כלומר, ההסתברות שהמצב ה- $n+1$ של המערכת המיוצג על ידי המשתנה המקרי X_{n+1} יהיה בעל הערך j , תלויה במצב בערך שהתקבל במצב ה- n בלבד.

שרשראות מרקוב לתיקוף נתונים

בניית שרשרת מרקוב לתיאור תזמוני יום ולילה בהפרשי מחזור וסת זהים

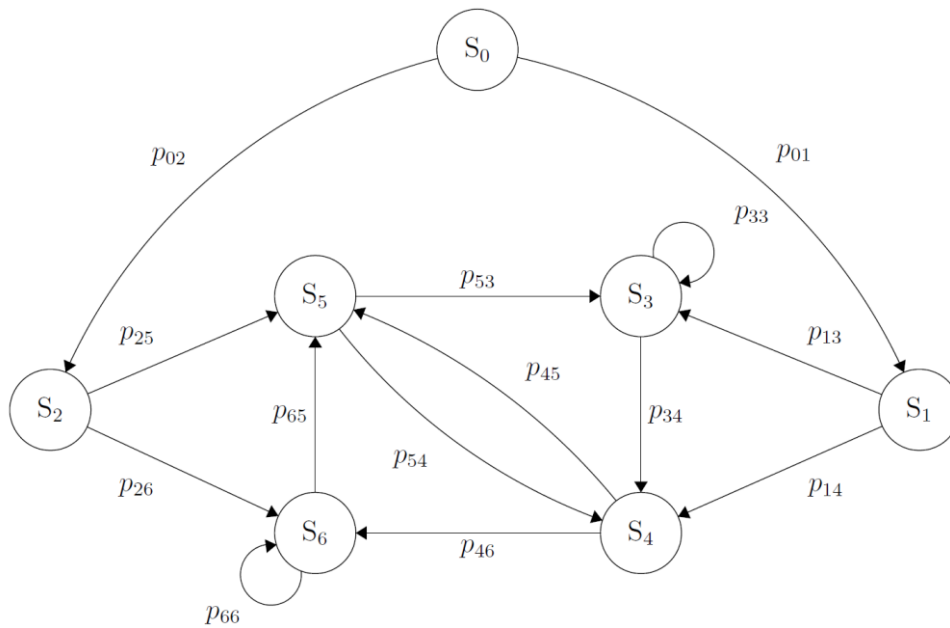
נגדיר את מצבי המערכת עבור אישה שהפרשי מחזורי הווסת שלה זהים:

S_0 - מצב התחלתי לפני הגעת וסת, S_1 - וסת ראשון ביום, S_2 - וסת ראשון בלילה, S_3 - וסת בלילה אחרי וסת ביום, S_4 - וסת אחרי וסת ביום, S_5 - וסת ביום אחרי וסת בלילה, S_6 - וסת בלילה אחרי וסת בלילה.



נסמן את ההסתברות לעבור ממצב S_i למצב S_j ב P_{ij} , ובהצגה מטריצית נקבל מטריצת מעברים P שבה ההסתברות לעבור ממצב S_i למצב S_j שווה לערך המופיע ב- P בשורה ה- i בעמודה ה- j :

$$P = \begin{pmatrix} 0 & p_{01} & p_{02} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{13} & p_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{25} & p_{26} \\ 0 & 0 & 0 & p_{33} & p_{34} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{45} & p_{46} \\ 0 & 0 & 0 & p_{53} & p_{54} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{65} & p_{66} \end{pmatrix}$$



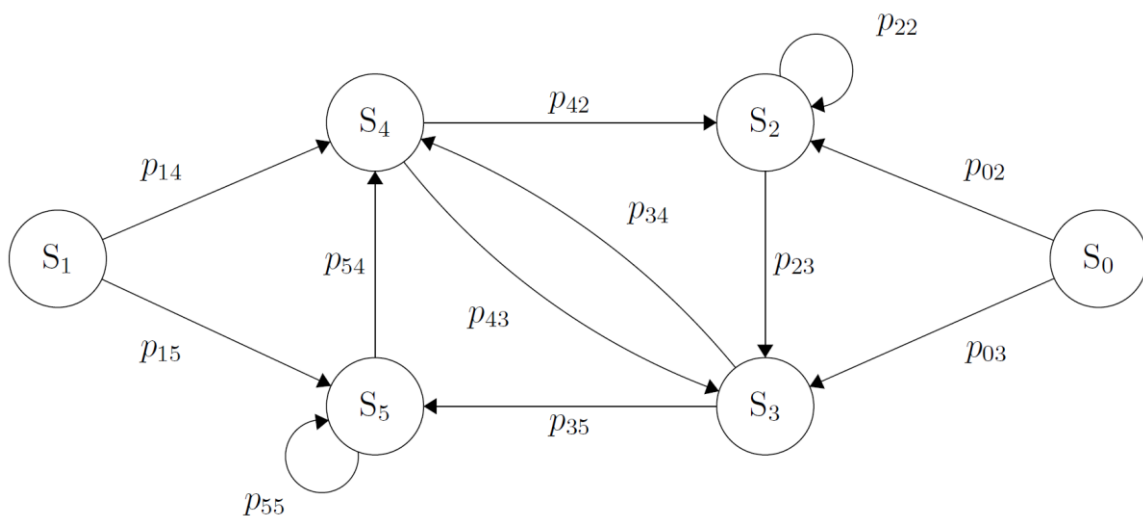
מכיוון שקיים מצב התחלתי למערכת, את ההסתברות לעבור ממצב S_i למצב S_j לאחר n צעדים נחשב בעזרת הכפלת הווקטור $\vec{v} = (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$ בערך המופיע ב- P^n בשורה ה- i בעמודה ה- j :

$$\Pr(X_n = S_i) = [\vec{v}_0 P^n]_i = \left[(P^n \vec{v}_0^T)^T \right]_i$$

נוכל לצמצם את המערכת על ידי המרת המצב ההתחלתי של המערכת והסתברויות המעבר ממנו, בעזרת החלפת וקטור ההסתברויות ההתחלתי בווקטור

$$\vec{v}_0 = (v_0 \ v_1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$$

ונקבל מערכת חדשה:



$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0 & p_{02} & p_{03} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{14} & p_{15} \\ 0 & 0 & p_{22} & p_{23} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{34} & p_{35} \\ 0 & 0 & p_{42} & p_{43} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{54} & p_{55} \end{pmatrix}$$

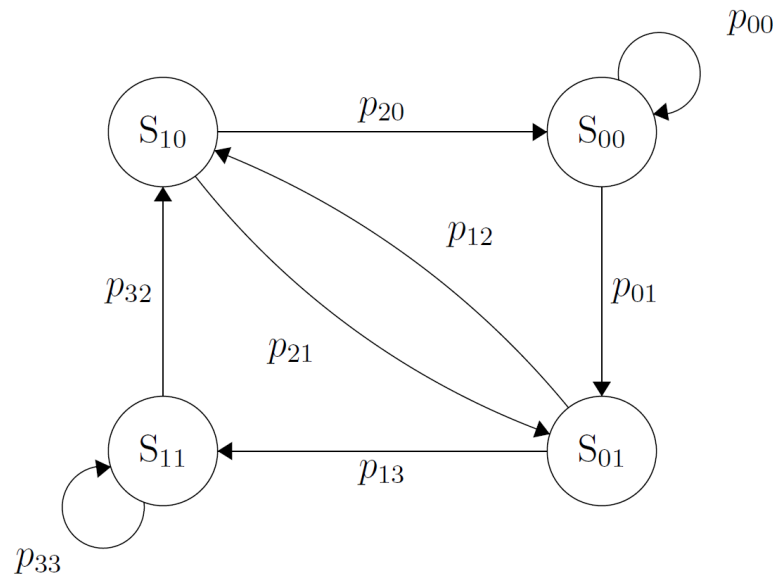
שרשרת מרקוב מסדר m היא תהליך סטוכסטי, כלומר סדרה של משתנים מקריים $X_1, X_2, X_3 \dots$ שבו ההתפלגות של המשתנה המקרי ה- n בהינתן המשתנים שקדמו לו, שווה להתפלגותו בהינתן m המשתנים שקדמו לו:

$$\begin{aligned} \forall n > m: \Pr(X_n = x_n | X_{n-1} = x_{n-1}, X_{n-2} = x_{n-2}, \dots, X_1 = x_1) \\ = \Pr(X_n = x_n | X_{n-1} = x_{n-1}, X_{n-2} = x_{n-2}, \dots, X_{n-m} = x_{n-m}) \end{aligned}$$

שרשרת כזו מאפשרת לייצג השפעה של קבוצת מצבים על המעבר הבא, כך נוכל לצמצם את המערכת בשנית בעזרת מעבר לשרשרת מרקוב מסדר 2:

S_{00} – שני וסתות אחרונים ביום, S_{01} – סדרת שני הווסתות האחרונים הייתה של וסת ביום שאחריו וסת בלילה, S_{10} – סדרת שני הווסתות האחרונים הייתה של וסת בלילה שאחריו וסת ביום, S_{11} – שני וסתות אחרונים בלילה.

מערכת המצבים תראה כך



עם וקטור התחלתי \vec{v} ומטריצת המעברים P :

$$P = \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_{12} & p_{13} \\ p_{20} & p_{21} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_{32} & p_{33} \end{pmatrix}, \quad \vec{v}_0 = (v_{00} \quad v_{01} \quad v_{10} \quad v_{11})$$

חישוב הסתברות לאי קביעת וסת של נשים בעלות אורך מחזור וסת קבוע

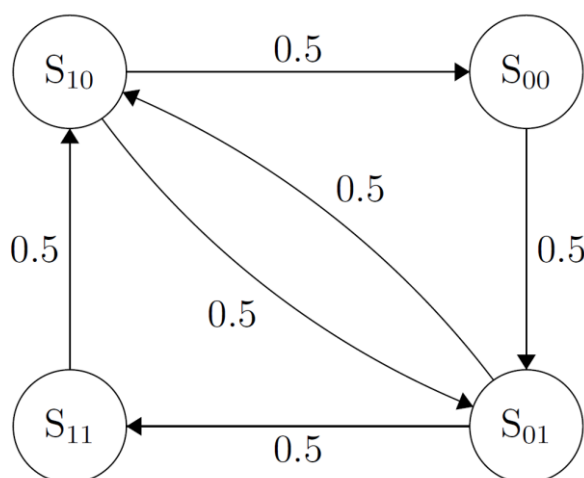
אם נניח שיש תלות בין תזמוני הווסת ביום והלילה, מלבד האפשרות שיהיו נשים שהתלות תגרום ליותר פעמים בהן לאחר הגעת וסת ביום יגיע וסת בלילה, ולהיפך, יש להניח שתלות תקשר בין הגעת וסתות עוקבים להגעה משותפת ביום או בלילה. אם כן, הנחת תלות בין תזמוני יום ולילה, תקטין את ההסתברות שסטיות יום ולילה ישבשו את קביעת הווסת. לכן נניח שאין תלות כזו, על מנת לחסום מלמטה את ההסתברות למניעת קביעת וסת בגלל סטיות יום ולילה.

בעקבות הנחת אי התלות בין הגעת וסת ביום ללילה, נציב הסתברויות שוות למצבים ההתחלתיים ולמעברים ביניהם:

$$P = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \end{pmatrix}$$

$$\vec{v}_0 = (0.25 \quad 0.25 \quad 0.25 \quad 0.25)$$

כדי להתמקד בתרחישים בהם לא נקבע וסת, נסיר את המעברים שמתארים קביעת וסת – המעברים מ- S_{00} ומ- S_{11} חזרה לעצמם:



כעת נוכל לחשב את ההסתברות לאי קביעת וסת, לאחר n וסתות, בעזרת סכימת כלל ההסתברויות המתקבלות ברכיבי הווקטור המתקבל כתוצאה מהכפלת וקטור המצבים ההתחלתי \vec{v}_0 , במטריצת

$$\hat{P} = \begin{pmatrix} 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 \end{pmatrix} \text{ המעברים המנוונים בחזקת } n.$$

לדוגמה, ההסתברות שאישה שיש לה וסתות בהפרשים קבועים לא תקבע וסת לאחר 12 וסתות, תחושב באמצעות מציאת הווקטור \vec{v}_{12} שמייצג את התפלגות הסתברויות ההגעה למצבי המערכת לאחר 12 וסתות ללא קביעת וסת:

$$\begin{aligned} \vec{v}_{12} = \vec{v}_0 \hat{P}^{12} &= (0.25 \quad 0.25 \quad 0.25 \quad 0.25) \begin{pmatrix} 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 \end{pmatrix}^{12} \\ &\approx (0.014 \quad 0.023 \quad 0.023 \quad 0.014) \end{aligned}$$

בעזרת סכימת רכיבי הווקטור \vec{v}_{12} נקבל את ההסתברות לאי קביעת וסת לאחר 12 וסתות:

$$\sum_{i=1}^4 [\vec{v}_{12}]_i \approx 0.014 + 0.023 + 0.023 + 0.014 = \frac{305}{4,096} = 7.45\%$$

פרשנות תוצאה זו היא שעבור נשים שאורך מחזור הווסת שלהן קבוע, ההסתברות לאי קביעת וסת בגלל מעברים בין יום ולילה היא 7.45%.

בניית שרשרת מרקוב לתיאור תזמוני יום ולילה עם סטיות בהפרשי מחזורי וסת

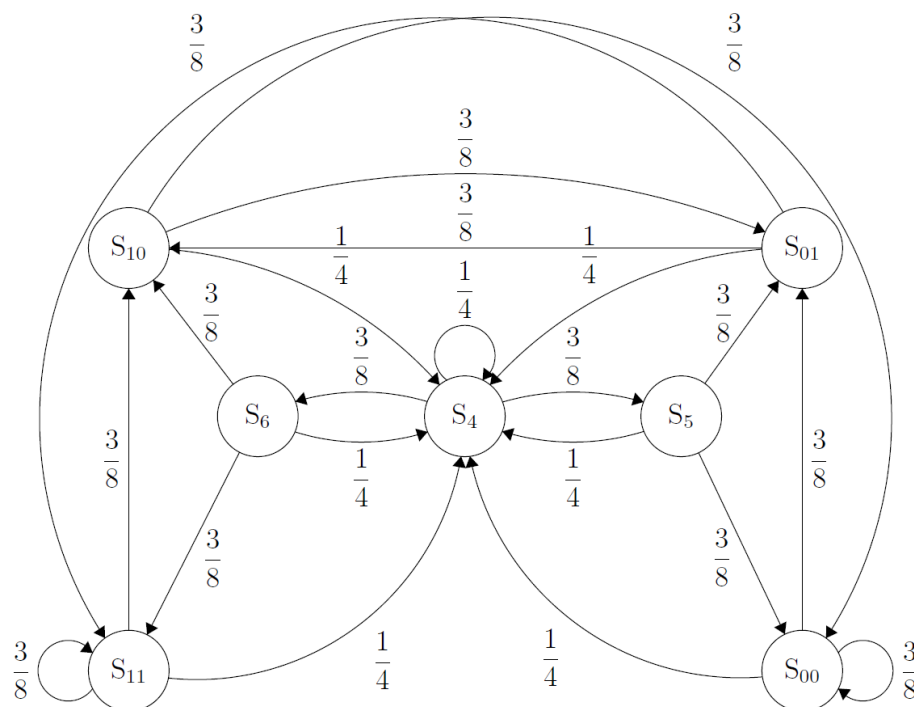
מכיוון שהנשים ענו ש"בדרך כלל המחזור מגיע באותו הפרש", נוסיף למערכת המצומצמת שקיבלנו מצבי סטייה מההפרש הקבוע:

S_4 – סטייה מהפרש הימים הזהה, S_5 – חזרה להפרש הרגיל עם וסת ביום, S_6 – חזרה להפרש הרגיל עם וסת בלילה.

גם עבור מקרה זה, נציב הסתברויות זהות למעברים בין המצבים, אך בכל שלב נאפשר מעבר למצב S_4 בהסתברות שתתאר סטייה מההפרש הקבוע, בתדירות שתתאים לביטוי "בדרך כלל". לצורך זה נבחרה הסתברות סטייה של $\frac{1}{4}$.

במידה ויעלה רצון לשנות את קביעה זו, המודל מאפשר התאמה קלה של הנתונים לצורך חישובים נוספים. זהו יתרון שיש לבחירת מודל שרשרת מרקוב לתיאור ה'בעיה' הזו, על פני תיאור בעזרת צירופים קומבינטוריים, שכן בעזרת חישובי צירופים קומבינטוריים, שינוי הנחת היסוד יגרור צורך בחישובים מסובכים יותר ופחות יעילים.

לאחר הוספת המצבים והמעברים, תרשים המצבים יראה כך:



מטריצת המעברים והווקטור ההתחלתי המתאימים למערכת הם :

$$P = \begin{pmatrix} 0.375 & 0.375 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.375 & 0.375 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0.375 & 0.375 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.375 & 0.375 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.375 & 0.375 \\ 0.375 & 0.375 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.375 & 0.375 & 0.25 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\vec{v}_0 = \left(\frac{1}{7} \quad \frac{1}{7} \quad \frac{1}{7} \quad \frac{1}{7} \quad \frac{1}{7} \quad \frac{1}{7} \quad \frac{1}{7} \right)$$

איגוד מצבים

בהינתן שרשרת מרקוב שמרחב המצבים שלה ניתן לחלוקה על ידי תתי קבוצות זרות המסומנות ב- t_i , כך שמתקבלת החלוקה $T = \{t_1, t_2, \dots\}$ של מצבי השרשרת, השרשרת תיקרא ניתנת לאיגוד ביחס לחלוקה T אם ורק אם

$$\forall t_i, t_j \in T, \forall n, n' \in t_i: \sum_{m \in t_j} q(n, m) = \sum_{m \in t_j} q(n', m)$$

כאשר $q(i, j)$ היא ההסתברות לעבור ממצב i למצב j .

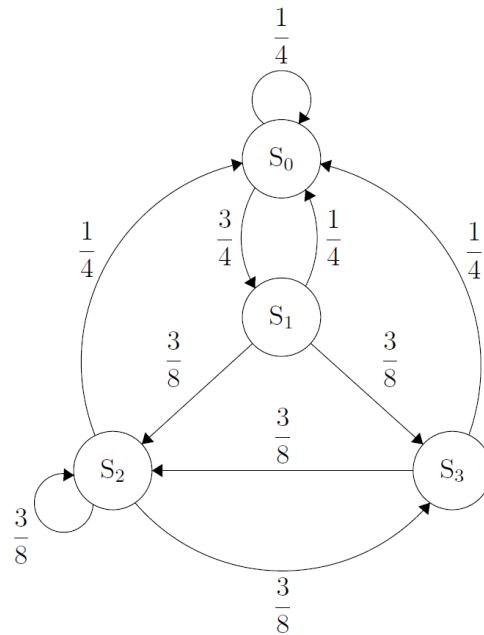
כלומר, עבור כל שני מצבים מאוגדים t_i ו- t_j (כולל האפשרות $i = j$), סכום ההסתברויות של המעברים מכל מצב מקורי בודד, שהתאגד ל- t_i , אל כל המצבים שהתאגדו ל- t_j , זהה.

הן מרחב המצבים והן החלוקה שלו יכולים להיות סופיים או בני-מנייה.

בעזרת תכונת האיגודיות (Kemeny & Snell, 1976) של מערכת המצבים, נוכל לצמצם את המצבים המקוריים למצבים הבאים :

S_0 – מצב סטייה מההפרש הקבוע, S_1 – חזרה להפרש הקבוע ביום או בלילה, S_2 – רצף וסתות בהפרש הקבוע כאשר עונות ההגעה של שני הווסתות האחרונים שונות, S_3 – רצף וסתות בהפרש הקבוע כאשר עונות ההגעה של שני הווסתות האחרונים זהות.

תרשים המצבים יראה כך:



מטריצת המעברים והווקטור ההתחלתי המתאימים הם:

$$P = \begin{pmatrix} \frac{1}{4} & \frac{3}{4} & 0 & 0 \\ \frac{1}{4} & 0 & \frac{3}{8} & \frac{3}{8} \\ \frac{1}{4} & 0 & \frac{3}{8} & \frac{3}{8} \\ \frac{1}{4} & 0 & \frac{3}{8} & \frac{3}{8} \end{pmatrix}$$

$$\vec{v}_0 = (0.25 \quad 0.25 \quad 0.25 \quad 0.25)$$

למרות שניתן היה לאגד גם את המצבים S_2 ו- S_3 , צמצום כזה היה גורם לאיבוד היכולת לחשב את ההסתברות לאי קביעת וסת, ולכן הוא לא בוצע.

בדומה לחישוב הקודם של ההסתברות אי קביעת וסת, נבטל את אפשרות המעבר ממצב S_2 חזרה לעצמו, נחשב את ההסתברות לאי קביעת וסת לאחר n וסתות בעזרת סכימת רכיבי הווקטור שמתקבל מהכפלת

$$\hat{P} = \begin{pmatrix} \frac{1}{4} & \frac{3}{4} & 0 & 0 \\ \frac{1}{4} & 0 & \frac{3}{8} & \frac{3}{8} \\ \frac{1}{4} & 0 & \frac{3}{8} & \frac{3}{8} \\ \frac{1}{4} & 0 & \frac{3}{8} & 0 \end{pmatrix} \text{ וקטור המצבים ההתחלתי } \vec{v}_0 \text{ במטריצת המעברים המנוונת}$$

בחזקת n .

לדוגמה, עבור אישה שיש לה וסתות עם הפרשי ימים קבועים ביניהם בדרך כלל, עם סטיות מההפרש הקבוע בתדירות של סטייה אחת על כל 3 הפרשים קבועים, ההסתברות לאי קביעת וסת הפלגה לאחר 24 וסתות תחושב בעזרת מציאת וקטור התפלגות ההסתברויות להימצאות במצבי השרשרת לאחר 24 מעברים (ללא אפשרות קביעת וסת) – \vec{v}_{24} :

$$\vec{v}_{24} = \vec{v}_0 \hat{P}^{24} = (0.25 \quad 0.25 \quad 0.25 \quad 0.25) \begin{pmatrix} \frac{1}{4} & \frac{3}{4} & 0 & 0 \\ \frac{1}{4} & 0 & \frac{3}{8} & \frac{3}{8} \\ \frac{1}{4} & 0 & \frac{3}{8} & \frac{3}{8} \\ \frac{1}{4} & 0 & \frac{3}{8} & 0 \end{pmatrix}^{24}$$

$$\approx (0.04 \quad 0.036 \quad 0.036 \quad 0.025)$$

בעזרת סכימה של רכיבי הווקטור \vec{v}_{24} , נקבל את ההסתברות לאי קביעת וסת לאחר 24 וסתות:

$$\sum_{i=1}^4 [\vec{v}_{24}]_i = 0.04 + 0.036 + 0.036 + 0.025 = 0.137 = 13.7\%$$

פרשנות תוצאה זו היא שמתוך 79 נשים שדיווחו על הכרת וסת ההפלגה ועל הפרשים זהים בדרך כלל, היו אמורות לדווח כ-68 נשים על קביעת וסת. הנתון המדווח, 14 נשים, חורג מההפרש הסביר ומעיד על כך שהנתונים שהתקבלו בעייתיים.

סיכום ומסקנות

בפרק זה הוצגו בעיות בדיווח על "אורכי מחזור הווסת בדרך כלל", בעזרת גרף שמציג שתי פסגות, במקום עקומת פעמון עם זנב ימני, זהו שחזור של תוצאות שהתקבלו במחקרים שונים (Jukic et al, 2007).

הוצגו מערכות מצבים שבעזרתן ניתן לתקף את הנתונים המתקבלים על דיווחים הקשורים לווסת ההפלגה. בוצע תיקוף נתונים על תגובות לשאלון שהופץ באינטרנט, והתקבל שמתוך 79 נשים שדיווחו על הפרשים זהים בדרך כלל, היו אמורות לדווח כ-68 נשים על קביעת וסת ההפלגה. הנתון שהתקבל הוא 14 נשים שקבעו את וסת ההפלגה. הפער הגדול עשוי לתאר מילוי חסר תשומת לב לשאלון, בעיות אמינות בדיווחים על "אורכי מחזורי וסת זהים בדרך כלל" ובדיווחים על הכרת וסת ההפלגה.

מפרק זה ניתן ללמוד שיש לתקף בקפדנות דיווחים המתקבלים על נתוני מחזור הווסת בכלל ובהקשר הלכתי בפרט. סיבות אלו, הובילו אותי לוותר על איסוף מידע באמצעות סקרים אינטרנטיים ולחפש אחר מאגרי מידע רפואיים מהימנים.

מאגר הנתונים

המסקנות של פרק א', שיש לתקף בקפדנות דיווחים המתקבלים על נתוני מחזור הווסת, הובילו אותי להחלטה של ויתור על איסוף מידע באמצעות סקרים אינטרנטיים ולחפש אחר מאגרי מידע רפואיים מהימנים. מצאתי מאגר נתונים כזה באתר האינטרנט של אוניברסיטת מארקט (Marquette)¹⁰. המאגר נוצר בשביל מחקר (Fehring et al, 2013) שהשווה בין שתי דרכי פעולה שונות ליישום גישת תכנון ילודה טבעי (NFP). דרך אחת נעזרת במוניטור אלקטרוני המאפשר מעקב על הורמוני הפוריות (EHFM), הדרך השנייה נעזרת במעקב על הכמות והסמיכות של הריר בצוואר הרחם (CMM).

איסוף הנתונים למאגר כלל בקרה: נאספו נתונים על נשים בין הגילאים 18 – 42, שצינו שיש להן אורכי מחזורי וסת בטוח של 21 – 42 ימים, ללא היסטוריה של אמצעי מניעה הורמונליים ב-3 החודשים האחרונים. בנוסף, אם האישה סיימה תקופת הנקה, נדרש שכבר הופיעו שלושה וסתות מאז הגמילה.

למרות שכתוב במאמר של החוקרים שנאספו נתונים של 359 נשים, בקובץ שנמצא באתר, יש דיווחים של 163 נשים בלבד¹¹. מכיוון שבשביל להתייחס לקביעת וסת, צריך לקבל לכל הפחות נתונים על 3 מחזורי וסת, צומצמו הנתונים רק לנשים שדיווחו על לפחות 5 מחזורי וסת (שנוצרו בין 6 וסתות). כך נותרו נתונים של 119 נשים ו-1,562 מחזורי וסת. הבחנתי בפילות דיווחים של האישה בעלת הזיהוי nfp8107. למרות שבמחקרים שונים¹² מעדיפים במקרים של כפילות דיווחים, להתייחס לרצף הראשון שמתקבל, הוחלט¹³ להסיר את סדרת הדיווחים הראשונה, מתוך חשיבה שסדרת הדיווחים השנייה היא תיקון של הראשונה. הנימוק להחלטה זו נבע מכך שהתקבלו מאותה האישה 2 סדרות דיווחים, על 8 אורכי מחזורי וסת עם נתונים נלווים בכל דיווח, והיה הבדל בודד בלבד בין 2 סדרות הדיווחים. בסיום תהליך הסינון נותרו 118 נשים שדיווחו על 1,554 מחזורי וסת.

היתרונות של מאגר הנתונים:

1. סדר: לכל אישה יש פירוט של אורכי מחזורי הווסת כסדרה לפי סדר כרונולוגי, לכן ניתן לבחון שכיחויות של הגעת וסתות מסוגים שונים, כדוגמת וסת ההפלה והעונה הבינונית.
2. טבעיות: הגעת הווסת טבעית, ללא התערבויות חיצוניות (כגון אמצעי מניעה הורמונליים).
3. אמינות: כפי שראינו בפרק הקודם¹⁴, סקרים אינטרנטיים בהקשר של וסתות, דורשים אימות נתונים קפדני. באיסוף הנתונים עבור המאגר המדובר התבצעה ביקורת. בנוסף, צורת הדיווחים ההמשכית נחשבת לבעלת אמינות גבוהה.¹⁵

⁹ תוכן פרק זה, התקבל לפרסום כמאמר בכתב העת השפית בד"ד בהוצאת אוניברסיטת בר אילן.

¹⁰ https://epublications.marquette.edu/data_nfp/7/

¹¹ נמצא גם קובץ עם מספר גדול יותר של מדווחות (מעל 500), אבל אין בו פירוט של מחזורי וסת.

¹² לדוגמה במחקר של בורטוט ואחרים (Bortot et al, 2010).

¹³ לאחר התייעצות עם מנחה המחקר פרופ' עלי מרצבך.

¹⁴ שהתפרסם כמאמר: "אמינות דיווחים על וסתות בהקשר הלכתי" (ד. רוס, 2019)

¹⁵ דוגמה לאיכות הנתונים היא פירוט משקל וגובה של האישה. בעזרת נתונים אלה חושב מדד מסת גוף (BMI), והתקבל ממוצע 25.08, בלי תת משקל, ועם כ-14% בדרגות Obese (השמנת יתר). בהקשר זה נציין שמכיוון שחז"ל

1. תאריכים : אין פירוט תאריכים, ולכן לא ניתן לעקוב אחר וסת החודש ושאר קביעות וסת התלויות בתאריכים ושעות.
 2. יום-לילה : חסרה התייחסות לשעות היום (ומתוך כך להגעת הווסת ביום או בלילה), ולכן לא ניתן להסיק מסקנות מוחלטות לגבי קביעת וסת, מכיוון שנפסק שקביעת וסת יכולה להתרחש רק אם סדרת הווסתות כולה הגיעה בעונת יום או בעונת לילה.¹⁶ משמעות פרט זה היא שעשויים להיות מקרים בהם במחקר זה נחשיב שנקבע וסת למרות שהוא לא נקבע, בגלל שנדמה שהווסתות הגיעו בעונות זהות למרות שלא היה כך. בנוסף, ייתכנו גם מקרים בהם נחשיב שלא נקבע וסת למרות שהוא כן נקבע מבחינה הלכתית. הטיית כאלה שיוצרות "ערבוב" בין הקבוצות של התופעות השונות, עשויות להקשות על הוכחת שונות בין קבוצות הנשים לפי סוגי קביעות וסת, לכן הן מחמירות את התנאים למבחנים הסטטיסטיים שבמחקר זה.
 - כמו כן, בחישוב אורך מחזור הווסת בהלכה, היום מתחלף לפי השמש ולא לפי השעון. לכן אורכי מחזורי הווסת המדווחים במאגר לא יהיו מדויקים מבחינה הלכתית. אולם לגבי חישובי ממוצעים יש להניח שלא תהיינה סטיות רבות שיטו את הנתונים בצורה משמעותית, מפני שכפי שיכולה להיות סטייה שתגדיל את אורך מחזור הווסת (ביחס לספירה הלכתית) ביום 1, במקרים שמחזור הווסת התחיל אחרי שקיעה ולפני חצות, באותה מידה יכולה להיות סטייה שתקטין אותו ב-1, במקרים שמחזור הווסת מסתיים אחרי שקיעה ולפני חצות.
 3. סימני גוף : הסקר לא כלל סימנים מקדימים להגעת הווסת, או סימנים שבאים ביחד עם הווסת, ולכן לא ניתן לדעת למי מהנשים היה וסת קבוע מסוג "וסת הגוף".
 4. יהדות : המשיבות אינן יהודיות (ככל הנראה), ולפי מספר דעות בהלכה, אין ללמוד בענייני רפואה מנשים שאינן יהודיות על התופעות שקשורות דווקא לנשים יהודיות.¹⁷
- בגלל החסרונות האלו, למרות שניתוח הנתונים מעניין ומלמד על התופעות שמופיעות בהלכות וסתות, אין להסיק ממאגר זה מסקנות מוחלטות לצורך פסיקה הלכתית.

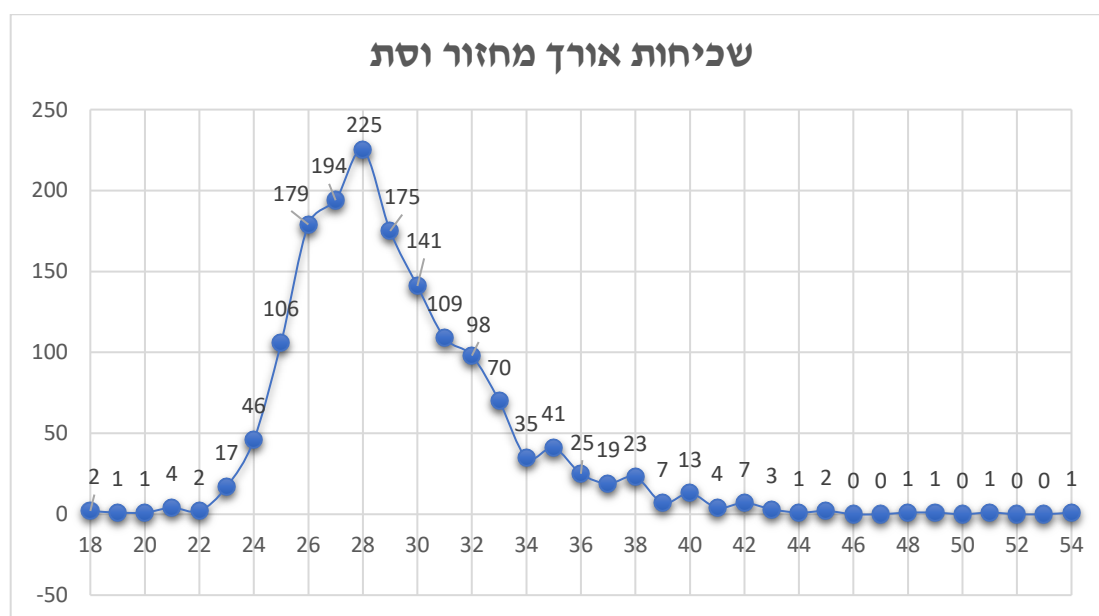
לא התייחסו בהלכות וסתות לנתונים שכאלה, נבחר שלא לבחון את הנתונים על פי קטגוריות של משקל וגובה. מכיוון שהנשים במאגר זה כולן בתקופת הפוריות, אין צורך להשוות להלכות של "קטנה" ושל "זקנה".

¹⁶ על פי שולחן ערוך, יורה דעה, קפט, יג בהקשר של וסת החודש. עבור וסת ההפלגה יש התייחסות מיוחדת בפתחי תשובה סעיף ט שם.

¹⁷ חת"ס, שו"ת יורה דעה, קעה ובפירושו על התלמוד הבבלי שבת, פו, ב ועבודה זרה, לא, ב, וכן בחזון איש, יורה דעה, צט, ד.

כדי לקבל תמונה כוללת עבור הנתונים הבסיסיים, בתור התחלה, יצרתי טבלת שכיחויות עבור אורכי מחזורי הווסת. את הטבלה ניתן לראות בנספח "טבלת שכיחויות עבור אורכי מחזורי וסת". הטווח עבור אורכי מחזורי וסת בימים, נע בין 18 ימים ל-54 ימים. הנתון השכיח ביותר הוא אורך מחזור וסת של 28 ימים. מכיוון שהתקבלו 1,554 מחזורי וסת, והשכיחות המצטברת עד אורך מחזור וסת של 28 ימים (כולל) היא 777, החציון (הנתון שכחצי מהנתונים קטנים ממנו וכחצי גדולים ממנו) הוא 28.5.

הממוצע של הנתונים יצא 29.27¹⁸. אך הנתון הזה מוטה כלפי מעלה ביחס לשאר מדדי המרכז, מכיוון שלאורך מחזור הווסת יש גבול תחתון למספר הימים, אבל אין לו גבול עליון. גם אם ניקח בחשבון שהנשים שהשיבו וסיפקו נתונים למאגר היו בעלות מחזור וסת סדיר, שנע בין 42 – 21 ימים בדרך כלל, הגבול העליון של הטווח (42) רחוק יותר ממרכז הנתונים (28) ביחס למרחק של הגבול התחתון (21). מאותה הסיבה, הגרף עבור השכיחויות יצא בצורת "פעמון עם זנב":



כפי שניתן לראות בתרשים, הנתונים מקובצים ומרוכזים סביב מדדי המרכז. ואכן מדדי הפיזור יצאו יחסית נמוכים: השונות שווה (בקירוב) 14.92 וסטיית התקן 3.86.

¹⁸ חישוב הממוצע נתן משקל זהה לכל מחזור וסת. אם רוצים לחשב את הממוצעים של אורכי מחזורי הווסת של כל אישה באופן פרטני, ולאחר מכן לחשב ממוצע של הממוצעים האלו, התוצאה המתקבלת היא ממוצע באורך 29.48. בצורה הזו השונות וסטיית התקן של הממוצעים הפרטניים מהממוצע הכללי הן 8.06 ו-2.84 (בהתאמה).

במשנה (נידה, ב, ד) נפסק: "כל הנשים בחזקת טהרה לבעליהן. הבאים מן הדרך, נשיהן להן בחזקת טהרה". בתלמוד הבבלי (נידה, טו, א) על המשנה, ריש לקיש מפרט בשם רבי יהודה הנשיא: "והוא שבא ומצאה בתוך ימי עונתה". מספר דפים קודם לכן (ט, ב), ריש לקיש מסביר בשם רבי יהודה הנשיא ש"עונה" היא "עונה בינונית שלוש ימים". רש"י (דיבור המתחיל במילה "בתוך") נותן הסבר לדברי ריש לקיש (בדף טו): "לאחר שלוש ימים בעיא בדיקה, הואיל וסתם נשים חזיין לסוף עונה". ביאורם של הדברים: לאחר שמגיע הזמן הצפוי לווסת, יש חובת בדיקה האם הגיע הווסת. עד ביצוע הבדיקה יש צורך בפרישה. הזמן שקבעו חז"ל לצפי עבור הגעת וסת, שלאחריו צריך לבצע בדיקה הוא "עונה בינונית – שלוש ימים".

הרב ש. לוי (לוי, תשע"ד) מציג שני הסברים מדברי הראשונים לסיבת הפרישה סמוך לווסת בעונה הבינונית:

1. לא סביר שלאישה לא יגיע וסת לעולם.
2. זוהי הגעת הווסת השכיחה אצל נשים.¹⁹

לפי הסברו, הרמב"ן (על התלמוד הבבלי, נידה, טו, א, דיבור המתחיל במילה "והוא") והר"ן (ד, ב בדפי הרי"ף דיבור המתחיל במילה "וגרסינן") הבינו שההסבר הראשון הוא הקובע, ולכן לשיטתם חכמים קבעו תאריך שממנו והלאה מניחים שלאישה כבר היה וסת, ומפני שלרוב הנשים מגיע וסת עד היום ה-30, תאריך זה נבחר.²⁰ לעומתם, הרשב"א (תורת הבית הארוך, ז, ג) הבין שההסבר השני הוא הקובע (שהעונה הבינונית היא הגעת הווסת השכיחה אצל נשים), ולכן לשיטתו חז"ל חשבו שסביר שגם לאישה שנבחרה באופן אקראי, יגיע וסת בעונה זו.

נסה לבחון האם הפירושים לשיטות האלו תואמים את הנתונים של המאגר המדובר. תחילה נבחן את הטענה "לרוב הנשים מגיע וסת עד היום ה-30", ולאחר מכן את הטענה "הווסת השכיחה אצל נשים באורך 30 יום".

כשנתבונן בטבלה בנספח "טבלת שכיחויות עבור אורכי מחזורי וסת"²¹, נראה את הנתונים הבאים:

אורך מחזור וסת	שכיחות	שכיחות יחסית	שכיחות יחסית מצטברת
27	194	12%	36%
28	225	14%	50%
29	175	11%	61%
30	141	9%	70%

¹⁹ נראה שחז"ל בחנו את המציאות בזמנם כדי להסיק על תופעות של מחזורי הווסת, אך לא מצאתי התייחסות לכיצד הם בחנו זאת.

²⁰ לביטוי "רוב נשים" התייחסתי במשמעות של "רוב מחזורי הווסת". אלו שתי משמעויות שונות, אך להבנתי זו הכוונה המתאימה. במידה ויש צורך לבחון את הנשים כיחידות בפני עצמן, הייתי בוחר מהו אורך מחזור הווסת השכיח עבור כל אישה, ולאחר מכן בוחר את שכיחות הנשים שמסווגות לפי השכיחים של אורכי מחזורי הווסת שלהן.

²¹ הטבלה בנספח תואמת את הנתונים המקוריים שהופיעו במאגר הנתונים, מפני שהיה לי חשוב שהמוצג בתחילת העבודה יהיה נאמן למקור. להלן נראה שיש להתאים את הנתונים עבור הדיון שבפרק זה.

באורך מחזור וסת של 28 ימים, מגיעים בדיוק למחצית מכמות הדיווחים, ועוברים לרוב של דיווחי מחזורי הווסת באורך מחזור וסת של 29 יום. במחשבה ראשונה הנתונים האלו אינם תואמים את הדעה שלרוב הנשים מגיע וסת עד היום ה-30. אולם במחשבה שנייה, כשאנחנו מדווחות לדוגמה על מחזור וסת שקרה בין יום רביעי בשבוע מסוים, ליום רביעי שמגיע 4 שבועות לאחר מכן, מסתבר שהיא תדווח על אורך מחזור וסת של 28 ימים. חיזוק לכך נמצא בסטנדרטיים שנקבעים על פי ארגון הבריאות העולמי, על פיהם מחזור וסת מוגדר כטווח שמתחיל ביום תחילת הדימום הווסתי, עד וכולל היום שקודם לדימום הווסתי הבא (Marshall, 1979). כלומר בצורת חישוב של "עד ולא עד בכלל", כך שיום הווסת הראשון נכלל, אך יום הווסת שחזרתם את אורך מחזור הווסת אינו נכלל. החישוב של אורך מחזור הווסת עבור הלכות פרישה סמוך לווסת נעשה בצורת "עד ועד בכלל", כך שגם היום שבו מגיע הווסת הבא נכלל. יוצא מזה, שכדי להתאים את הנתונים לצורת חישוב "עד ועד בכלל" נוסף עוד יום לאורך מחזור הווסת, ונקבל את מקטע הטבלה הבא:

אורך מחזור וסת	שכיחות	שכיחות יחסית	שכיחות יחסית מצטברת
28	194	12%	36%
29	225	14%	50%
30	175	11%	61%
31	141	9%	70%

בהצגה כזו, רואים לגבי החציון, שמחצית ממחזורי הווסת מתחת ל-30 יום, ושרוב מחזורי הווסת של נשים באורך של עד 30 יום²². כלומר, האורך של 30 יום הוא נקודת המפנה שבה מגיעים לרוב השכיחויות. זוהי הצדקה שדעת הרמב"ן והר"ן עודנה רלוונטית גם בימינו.

נמשיך בבחינת ההסבר של הרב ש. לוי לשיטת הרשב"א: העונה הבינונית היא הגעת הווסת השכיחה אצל נשים, ולכן סביר שגם לאישה שנבחרה באופן אקראי, יגיע וסת בעונה זו.

אם נבין שהכוונה לאורך מחזור הווסת השכיח ביותר, נראה שלפי הנתונים שלנו אין התאמה להסבר זה: לאורכי מחזורי וסת של 29 – 28 ימים יש שכיחות גבוהה יותר בצורה משמעותית (לאורך של 27 ימים יש רק הופעה אחת יותר מ-30).

אולם יש צורך בחידוד ההבנה של ההסבר של דעת הרשב"א: מחד, ניתן להבין שהכוונה היא שהעונה הבינונית היא הווסת השכיח עבור נשים ללא וסת קבוע, ולכן צריך לחשוש ליום זה. מאידך, ניתן להבין שהכוונה היא שלרוב הנשים יש וסת הפלגה קבוע ו'סתם וסת שלושים יום', ולכן יש צורך לחשוש למצב שבו אישה ללא וסת קבוע תראה וסת, ותתחיל תהליך של קביעת וסת דווקא ביום השלושים. להבנתי, ההסבר האחרון הוא המדויק יותר, מפני שבביטוי "סתם נשים חזיין לסוף שלושים" יש התייחסות לנשים בצורה כללית, ולכן יש להניח שהכוונה ב"סתם נשים" היא לרוב הנשים – שהן בעלות וסת קבוע.

²² על פי אותה צורת החשיבה, אפשר לעדכן גם את הנתונים עבור הממוצע, החציון והשכיח: השכיח המעודכן יהיה 29, החציון 29.5 והממוצע המעודכן יהיה 30.27. אם נעגל את הממוצע כלפי מטה נקבל ש"העונה הממוצעת" (פירוש מילולי של "עונה בינונית") היא אכן 30 יום.

על פי הבנה זו, המעמד המיוחד של העונה הבינונית נובע מהמעמד שניתן לווסת ההפלגה. מפני שהמעמד של וסת ההפלגה נובע מכוח חזקת גילוי מילתא (מרצבך והרשקוביץ, תשע"א), כלומר שמתברר שלאישה יש טבע לראות וסתות בהפרשים שווים.

כדי לבחון האם המצב המתאר את הדעה הזו תואם את הנתונים, נבדקה שכיחות רצפים של מחזורי וסת לפי אורכים שונים.²³ כדי לתאר מצבים של קביעת וסת הפלגה, הרצפים השייכים לעניין, הם הרצפים שיש בהם לפחות 3 אורכי מחזורי וסת זהים. הרצפים הארוכים ביותר שנמצאו במאגר זה היו 2 רצפים שמנו 5 מחזורי וסת באורכים זהים, כמפורט בטבלה הבאה:

אורך מחזור וסת	שכיחות רצף באורך 5	שכיחות רצפים באורכים 4-5	שכיחות רצפים באורכים 3-5
25	1	3	6
26	0	1	6
27	0	0	4
28	1	2	8
29	0	2	5
30	0	0	2
31	0	1	3
32	0	0	1
סכום	2	9	35

חשוב לציין שבטבלה הזו רצף של 4 נספר פעמיים בעמודת הרצפים באורך 3, וכן רצף של 5 נספר פעמיים בעמודת הרצפים באורך 4, ו-3 פעמים בעמודת הרצפים באורך 3. דיוק נוסף שצריך לקחת בחשבון הוא הפרט שכבר צוין לעיל, שיש להתאים את המספרים לספירה בצורת "עד ועד בכלל". אם נתאים את הטבלה כך שלא ייספרו מופעים כפולים, ונעלה את אורך מחזור הווסת ב-1 נקבל את הטבלה הבאה:

אורך מחזור וסת	שכיחות רצף באורך 5	שכיחות רצף באורך 4	שכיחות רצף באורך 3	סכום
26	1	1	1	3
27	0	1	4	5
28	0	0	4	4
29	1	0	5	6
30	0	2	1	3
31	0	0	2	2
32	0	1	1	2
33	0	0	1	1
סכום	2	5	19	26

²³ הבדיקה התייחסה לשכיחות הרצפים, ולא לשכיחות הנשים בעלות הרצפים. למעשה הרצפים האלו התקבלו מ-20 נשים בלבד. תוצאה זו תוצג בפרק ג', שמתייחס לשכיחות קביעות הווסת.

אורך מחזור וסת בעל 29 ימים הוא השכיח ביותר מכיוון שעבורו התקבל המספר הגדול ביותר של רצפים. למעשה, אורך מחזור וסת בעל 30 יום נמצא "רק" במקום ה-4, אחרי אורכי מחזורי וסת של 27 ושל 28 ימים. אם נפרט באחוזים: רק כ-11.5% מהרצפים היו באורך מחזור וסת של 30, לעומת כ-23.1% לאורך מחזור וסת של 29 וכ-19.2% וכ-15.4% לאורכים של 27 ו-28 ימים (בהתאמה).

בנתונים של הטבלה האחרונה יש מידע שכולל 3 מקרים בהם וסת הפלגה כבר נקבע, ולפני שנעקר, הופיע שוב רצף של 3 מחזורי וסת באורך של מחזור הווסת הקבוע. זה קרה עבור אורכי מחזורי וסת של 28, 29. עבור אורך מחזור וסת של 27 ימים, קרה מקרה דומה עם רצף של 4. אז טבלה שתכלול את אורכי הרצפים **שקבעו וסת תיראה כך**:

אורך מחזור וסת	שכיחות רצף באורך 5	שכיחות רצף באורך 4	שכיחות רצף באורך 3	סכום
26	1	1	1	3
27	0	0	4	4
28	0	0	2	3
29	1	0	4	5
30	0	2	1	3
31	0	0	2	2
32	0	1	1	2
33	0	0	1	1
סכום	2	4	17	23

גם מטבלה זו, על אף שהפער מצטמצם, נראה שווסת קבוע עם אורך מחזור וסת של 30 יום שכיח פחות מאורכי מחזורים שונים, ולכל הפחות אין להחשיב אותו כשכיח יותר. לכן, הפירוש המובא לעיל על שיטתו של הרשב"א, אינו תואם את הנתונים שקיבלנו.

עונת פרישה נוספת שנדרשת בזמנים שאין לאישה 'וסת קבוע', היא עונת החודש : בחודש שלאחר הגעת וסת, בתאריך העברי התואם את יום החודש שבו הגיע הווסת האחרון, יש צורך בפרישה. הלימוד של חובה זו נעשה על פי התלמוד הבבלי (נידה, לט, ב), שם מביאים דוגמה בשם ר' יוחנן : שרואה פעמיים בראש חודש ופעם נוספת בכ"ה לחודש. מדוגמה זו מסיקים שצריכה להיות התייחסות ליום החודש שבו הגיע הווסת.

הרב ש.א. קידר (קידר, תשע"ו) מביא מחלוקת בין הרא"ה והרשב"א על ההסבר להלכות "וסת החודש". לשיטת הרא"ה, הטבע משפיע על הגעת הווסת של אישה, על-ידי מולד הירח. לשיטת הרשב"א, ההבנה מצד האישה שמתחיל חודש חדש היא המשפיעה על הגעת הווסת. בספרות המדעית יש מעט התייחסות לקשר בין הגעת הווסת לבין הירח, קשר שמתייחס להגעה של הווסת בחלקים מסוימים של מחזור הירח (Lacey, 1975, Knight, 1995).

מכיוון שבמאגר הנתונים אין פירוט תאריכים, לא ניתן לעקוב אחר וסת החודש. אולם אורכי מחזורי הווסת שמתאימים לעונת החודש הם תמיד או 29 (בחודש חסר) או 30 (בחודש מלא). בטבלה שהוצגה בהקשר של העונה הבינונית (עם התחשבות בספירת "עד ועד בכלל"), ניתן לראות ששני אורכי מחזורי וסת אלה הינם שכיחים :

אורך מחזור וסת	שכיחות	שכיחות יחסית	שכיחות יחסית מצטברת
28	194	12%	36%
29	225	14%	50%
30	175	11%	61%
31	141	9%	70%

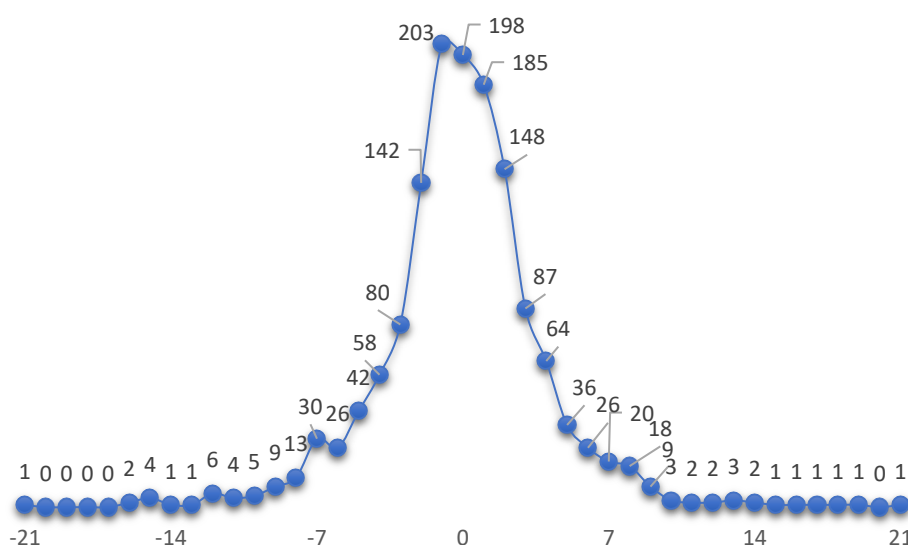
מחזור וסת באורך של 29 ימים בעל שכיחות יחסית של 14%, ומחזור וסת באורך 30 ימים בעל שכיחות יחסית של 11%. במבט כולל על מדדי המרכז, השכיח הוא 29, החציון 29.5 והממוצע (עם עיגול כלפי מטה) הוא 30. מהנתונים מתקבל שקיימת הצדקה לפרישה סמוך לווסת בעונת החודש.

מה זו הפלגה? כמו שאדם מפליג בים ופורש מהיבשה, כמו שהגוף שלנו מתחלק לפלגים וכמו שהתפלגות סטטיסטית מתארת חלוקה של נתונים, וסת ההפלגה מתאר הגעת וסתות בהפרשים קבועים. על כן, עונת ההפלגה נקבעת על פי אורך מחזור הווסת שהיה לאישה בין שני וסתותיה האחרונים.

כדי לקבל תמונה כוללת עבור ההפלגות, בתור התחלה, יצרתי טבלת שכיחויות עבור הפרשים בין שני מחזורי וסת עוקבים. את הטבלה המלאה ניתן לראות בנספחים. הטווח עבור ההפרשים בין אורכי מחזורי וסת עוקבים (בימים) נע בין הערך השלילי 21 – ימים ל-21 ימים, כאשר הפרש שלילי מעיד על אורך מחזור וסת שקטן מאורך מחזור הווסת שקדם לו, והפרש חיובי מעיד על אורך מחזור וסת שגדול ממחזור הווסת שקדם לו. הכמות הכוללת של הפרשים בין מחזורי וסת יצאה 1,436²⁴.

הממוצע של ההפרשים יצא (בקירוב) -0.05. בשונה מממוצע אורכי מחזורי הווסת שהיה מוטה כלפי מעלה, הממוצע של ההפרשים בין אורכי מחזורי וסת עוקבים אינו מוטה כלפי מעלה, מכיוון שלאחר כל סטייה גדולה (בין אם לכיוון השלילי או החיובי), יכולה להגיע סטייה גדולה לכיוון השני. כמו כן, הסטייה ממרכז הנתונים (שנמצא ב-0), של הגבול התחתון להפרש בין אורכי מחזורי וסת (-21) שקולה לסטייה של הגבול העליון (21). לכן, הגרף עבור ההפרשים בין מחזורי וסת עוקבים יצא בצורת "פעמון" רגילה:

שכיחות הפרשים בין הפלגות



כפי שניתן לראות בתרשים, הנתונים מקובצים ומרוכזים סביב מדדי המרכז. ואכן מדדי הפיזור יצאו יחסית נמוכים: השונות שווה (בקירוב) 15.6 וסטיית התקן 3.95.

²⁴ המספר מתקבל על ידי החסרת מספר מחזורי הווסת הכולל – 1,554, במספר מחזורי הווסת הראשונים של כל הנשים, ששווה למספר הנשים הכולל – 118.

מכיוון שההתפלגות נראית כהתפלגות נורמלית, נבנה רווח סמך לממוצע על פי ההנחה שהמדגם בעל התפלגות נורמלית.²⁵ נבחר ברמת ביטחון של $1 - \alpha = 99\%$, ונשתמש באומדן של סטיית התקן ($\sigma \approx$ 3.95) שקיבלנו. כך, על פי הנוסחה לרווח סמך $\bar{X} - \frac{\sigma \cdot Z_{1-\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + \frac{\sigma \cdot Z_{1-\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{n}}$ נקבל שהממוצע האמיתי (התוחלת) של המדגם נמצא בתוך הטווח $-0.323 < \mu < 0.214$. כך שניתן להגיד שממוצע ההפרשים **בימים** בין שני מחזורי וסת עוקבים הוא 0.

הנתון שיצא החציון הוא הפרש של 0 ימים, כלומר הפלגות עוקבות בעלות אורכי מחזורי וסת שווים. הנתון השכיח ביותר – הוא הפרש של -1, כלומר ירידה של יום אחד מאורך מחזור הווסת הקודם. אולם כפי שרואים בטבלה, ההבדל בין השכיחות של הפרש זה להפרשים של 0 ו-1 ימים, אינו משמעותי:

הפרש בין הפלגות עוקבות	שכיחות	שכיחות מצטברת	שכיחות יחסית	שכיחות יחסית מצטברת
-2	142	424	10%	29%
-1	203	627	14%	44%
0	198	825	14%	57%
1	185	1010	13%	70%
2	148	1158	10%	81%

מהטבלה יוצא שכ-41% ממחזורי הווסת העוקבים מגיעים בהפרש של לכל היותר יום בודד, וכן שכ-61% ממחזורי הווסת העוקבים מגיעים בהפרש של לכל היותר 2 ימים. מהנתונים מתקבל שקיימת הצדקה לפרישה סמוך לווסת בעונת ההפלגה.

²⁵ בביצוע מבחן *Kolmogorov – Smirnov* הנתונים לא עברו את מבחן הנורמליות, אולם לצורך ההמחשה ובגלל קלות ההבנה והשימוש ברווח סמך של התפלגות נורמלית, נבחרה צורה זו.

בפרק זה הוצגו נתונים שקשורים להלכות מתוך הלכות פרישה סמוך לווסת, וניתוח של הנתונים. מהניתוח מתקבל שההסבר ל"עונה הבינונית" על פי דעת הרמב"ן והר"ן תואם את המציאות גם בימינו, מפני שרוב מחזורי הוסת של נשים הינם באורך של עד 30 יום. לעומת זאת, ההסבר ל"עונה הבינונית" על פי הרשב"א תואם פחות את הנתונים, מכיוון שנמצאו 3 אורכי מחזורי וסת בעלי שכיחות גבוהה יותר של רצפי הפלגות זהות (המעידים על וסת הפלגה קבוע).

יחד עם היום ה-30, ה"עונה הבינונית", לעונת הפרישה של יום החודש יש גם כן חיזוק מהמציאות. מחזור באורך 29 ימים (שמתאים לחודש חסר) הוא אורך מחזור הוסת השכיח ביותר, עם שכיחות יחסית של 14%, ומחזור וסת באורך 30 ימים בעל שכיחות יחסית של 11%. יוצא אם כן, שכ-1 מכל 4 מחזורי וסת הם בעלי אורך של 29 או 30 יום.²⁶ מאידך, חשוב לציין שלא היה ניתן לבצע מעקב על יום החודש המדויק, מכיוון שלא התקבלו נתונים על התאריכים שבהם הגיעו וסתות.

עונת ה"הפלגה" גם היא מקבלת חיזוק מהמציאות. מפני שכ-41% ממחזורי הוסת העוקבים מגיעים בהפרש של לכל היותר יום בודד זה מזה, וכן שכ-61% ממחזורי הוסת העוקבים מגיעים בהפרש של לכל היותר 2 ימים.

למסקנה, ממאגר הנתונים נראה שעונות הפרישה סמוך לווסת תואמות את המציאות גם בימינו. עם זאת, כדאי להמשיך ולבדוק זאת בבחינת מאגרי נתונים נוספים, בעלי פירוט והתאמה גדולים יותר.

²⁶ יש לציין שאין כאן כוונה שלאישה מסוימת יש הסתברות של 25% שמחזור הוסת הבא שלה יהיה באורך של 29 או 30 ימים. הכוונה היא שמתוך כלל מחזורי הוסת, כרבע מהם באורך של 29 או 30 ימים.

סוגי קביעות וסת

בהלכות וסתות ניתן למצוא 17 סוגי קביעות וסת: (1) הפלגה, (2) חודש, (3) שעות, (4) שבוע, (5) שבוע בדילוג, (6) דילוג חודש, (7) הפלגה בדילוג, (8) דילוג למפרע בחודש, (9) דילוג למפרע בהפלגה, (10) דילוג בתוך דילוג, (11) דילוג חוזר חלילה, (12) סירוג, (13) קפיצות, (14) קפיצות וימים, (15) אכילת דברים חריפים, (16) גוף ו- (17) גוף ליום ידוע.

מאחר שבמאגר אין התייחסות לתופעות הקשורות לגוף, לא נוכל להתייחס לסוגי וסתות (12)-(17), וצריך להתחשב בכך שווסתות אלו יכלו להיקבע ולכן לשבש את הניתוח של שאר הנתונים. בצורה דומה, מכיוון שאין התייחסות לתאריכים ושעות, אלא רק לאורכי מחזורי הווסת, לא נוכל לבחון את וסתות (2), (3), (6) ו-(8).

נותרו 7 סוגי וסתות שאותם יש לבחון:

- א. וסת ההפלגה (3 מחזורי וסת עוקבים בעלי אורכים זהים).
- ב. וסת הפלגה בדילוג (3 מחזורי וסת עוקבים שיוצרים סדרה חשבונית עולה).
- ג. וסת דילוג למפרע בהפלגה (3 מחזורי וסת עוקבים שיוצרים סדרה חשבונית יורדת).
- ד. וסת השבוע (3 וסתות עם הפרשי שבועות זהים, ביום שבוע זהה).
- ה. וסת השבוע בדילוג (3 וסתות עם הפרשי שבועות זהים, בימי שבוע עם הפרש של סדרה חשבונית עולה).
- ו. וסת דילוג בתוך דילוג (ההפרשים בין אורכי מחזורי הווסת יוצרים סדרה חשבונית עולה).
- ז. וסת דילוג חוזר חלילה (3 סדרות זהות של 3 מחזורי וסת בעלי מאפיין של וסת הדילוג).

ניתוח הנתונים עבור הווסתות האלו יכלול:

1. מציאת שכיחות הווסת.
2. פעילות הווסת: לאחר קביעת וסת, לאורך כמה מחזורי וסת נשמרה הקביעות.
3. עד כמה הווסת הקבוע הפעיל שימש כחיזוי יעיל – מבלי להתחשב בשאר סוגי קביעות הווסת.

המונח 'וסת ההפלגה' מתאר קביעות של 3 מחזורי וסת עוקבים (בין 4 וסתות) באורכים זהים. כבשאר קביעות וסת, וסת ההפלגה נעקר לאחר רצף של 3 מחזורי וסת באורכים שונים מאורך מחזור הוסת שקבע אותו. הייחוד של וסת ההפלגה ביחס לווסתות הקבועים האחרים הוא באפשרות החזרה שלו לקביעות, לאחר חזרה בודדת של אורך מחזור הוסת שקבע אותו.²⁷

מתוך 118 הנשים במאגר, ל-20 נקבע וסת הפלגה (כ-17%). וסת ההפלגה נקבע 31 פעמים, מתוכן 23 פעמים על ידי קביעת וסת עם אורך מחזור וסת קבוע חדש, ו-8 פעמים על ידי חזרת אורך מחזור הוסת האחרון שנקבע.

מ-20 הנשים האלו התקבלו 333 דיווחים על אורכי מחזורי וסת. עבור מחצית מהנשים קביעת הוסת הראשונה התרחשה עד הדיווח ה-7 (כולל). בנספחים מובאת טבלה עם פירוט שכיחויות קביעות הוסת לפי מספר הדיווח שבו הוסת נקבע.

הסך הכולל של הדיווחים על מחזורי וסת שהגיעו החל מקביעת וסת הפלגה, 167, הוא כמחצית מסך הדיווחים הכולל על מחזורי וסת של נשים שקבעו וסת הפלגה. מתוכם 127 מחזורי וסת (כ-76%) היו במצב הלכתי של וסת הפלגה קבוע, ו-40 דיווחים (כ-24%) ללא וסת הפלגה קבוע. היחס שמתקבל מכך הוא שעל כל מצב שבו הוסת אינו קבוע, יש 3.175 מצבים עם וסת קבוע, יחס של 1:3.175.²⁸

אצל 13 נשים (מתוך ה-20) הדיווח האחרון היה במצב הלכתי של וסת הפלגה קבוע.

כשרוצים לבחון האם הוסת הקבוע משמש כחיזוי טוב, נתמקד ב-114 מקרים בהם אישה הייתה במצב של וסת הפלגה קבוע פעיל והמשיכה לדווח על מחזור וסת, ונבחן האם מחזור הוסת העוקב היה זהה לאורך מחזור הוסת הקבוע.²⁹

ב-35 מקרים (כ-31%) החיזוי היה מדויק וב-79 מקרים (כ-69%) החיזוי היה שגוי.

אולם, אם נוסיף לחיזויים שהגיעו לאחר סטייה אחת מאורך מחזור הוסת הקבוע, את יום הפרישה סמוך לווסת של יום ההפלגה³⁰, נראה שעבור 9 פעמים נוספות החיזוי יוצא מדויק. כלומר 44 חיזויים טובים (כ-39%) לעומת 70 שגויים (כ-61%).

לא ניתן להוסיף בצורה מדויקת לחיזוי את יום הפרישה סמוך לווסת של יום החודש, מפני שאין במאגר התייחסות לתאריך, אך כדי לקבל קנה מידה, נבחן את המקרים בהם בנוסף לאפשרויות החיזוי הקודמות

²⁷ שולחן ערוך, יורה דעה, קפט, טו: "שינתה ראיותיה ולא הוזה אותם, כגון: ששינתה פעם אחת ליום שלוש, והשנייה לשלוש ושניים, והשלישית לשלוש וארבעה, נעקר הוסת הראשון ואין לה וסת כלל. ואם חזרה לראות ביום הוסת הראשון, חוזר לקביעותו הראשון וחוששת לו..."

²⁸ זו תוצאה שמאששת את מסקנות פרק ז' "שרשרת מרקוב לווסת ההפלגה".

²⁹ מתוך 127 מחזורי וסת במצב הלכתי של וסת קבוע, ב-13 לא שייך לבדוק חיזוי מפני שאלו היו הדיווחים האחרונים במאגר עבור אותן הנשים, לכן נקבל 114 חיזויים לחישוב.

³⁰ נזכיר שאין התייחסות במאגר לזמני היום, ולכן אין יכולת להתייחס לעונת ההפלגה המדויקת. הכוונה כאן היא לאורך מחזור הוסת האחרון, שסטת מהווסת הקבוע.

יתווספו מחזורי וסת באורכים של 28 ו-29 יום.³¹ בצורה הזו נקבל 49 חיזויים נכונים (כ-43%) לעומת 65 (כ-57%) לאחר הוספת העונה הבינונית ו-55 חיזויים נכונים (כ-48%) לעומת 59 שגויים (כ-52%) לאחר הוספת יום החודש. אם כן, מכיוון שחישוב זה כולל את האפשרויות של חודש חסר וחודש מלא יחד, הטווח של החיזויים המדויקים צריך להיות בין 49 החיזויים הטובים ללא תוספת זו, ובין 55 החיזויים הטובים כולל תוספת זו.

למסקנה, לאחר שנקבע מחזור וסת הפלגה קבוע, עונות הפרישה סמוך לווסת יצליחו לחזות בצורה נכונה בין 43% ל-48% מהמקרים.

מלבד הבדיקות של איכות החיזוי, כדי להבין טוב יותר את התופעה של וסת קבוע, נסתכל על האורך של הרצפים של מחזורי וסת זהים ועל מספר מחזורי הווסת שעבורם המצב ההלכתי של וסת קבוע נשאר בתוקף.

בטבלה הבאה אפשר לראות את אורכי מחזורי הווסת שעבורם נקבעו וסתות, ואת אורכי הרצפים שקבעו אותם.³²

סכום	שכיחות רצף באורך 3	שכיחות רצף באורך 4	שכיחות רצף באורך 5	אורך מחזור וסת
3	1	1	1	26
4	4	0	0	27
3	2	0	0	28
5	4	0	1	29
3	1	2	0	30
2	2	0	0	31
2	1	1	0	32
1	1	0	0	33
23	17	4	2	סכום

היו 3 מקרים בהם וסת הפלגה נקבע, ולפני שנעקר הווסת, הופיע שוב רצף של 3 מחזורי וסת של הווסת הקבוע. זה קרה עבור אורכי מחזורי וסת 28, 29. עבור אורך מחזור וסת של 27 ימים קרה מקרה דומה, עם רצף של 4 מחזורי וסת.

³¹ כפי שהוסבר בפרק ב', מסתבר שהדיווחים חושבו שצורה של "עד ולא עד בכלל", לכן עבור יום החודש שיכול להיות בחודש מלא ביום ה-30 ובחודש חסר ביום ה-29 בצורת חישוב של "עד ועד בכלל", נתאים את הדיווחים של 29 ו-28 ימים.

³² 2 הטבלאות הבאות מופיעות גם בפרק ב'. אורכי מחזורי הווסת כאן מותאמים לחישוב של "עד ועד בכלל", כלומר בוצעה הוספת 1 לאורכי מחזורי הווסת שמופיעים במאגר הנתונים.

טבלה שתכלול את אורכי כל הרצפים (החל מרצף של 3 מחזורים ומעלה) תיראה כך :

סכום	שכיחות רצף באורך 3	שכיחות רצף באורך 4	שכיחות רצף באורך 5	אורך מחזור וסת
3	1	1	1	26
5	4	1	0	27
4	4	0	0	28
6	5	0	1	29
3	1	2	0	30
2	2	0	0	31
2	1	1	0	32
1	1	0	0	33
26	19	5	2	סכום

בטבלה הבאה מוצגים הנתונים על שכיחות קביעת וסת ראשונית (על ידי רצף של לפחות 3 מחזורי וסת באורכים זהים), שכיחות קביעת וסת משנית (על ידי חזרה על אורך מחזור הווסת הקבוע האחרון לאחר שהוא נעקר) ומספר הפעמים מתוך אותן קביעות משניות, שבהן הקביעה החוזרת הופיעה עם רצפים באורכים של 3 ו-4 מחזורי וסת.

אורך מחזור וסת	שכיחות קביעה ראשונית	חזרות אחרי עקירה	חזרה עם רצף של 3	חזרה עם רצף של 4
26	3	1	0	0
27	4	0	0	1
28	3	3	1	0
29	5	0	1	0
30	3	0	0	0
31	2	3	0	0
32	2	0	0	0
33	1	1	0	0
סכום	23	8	2	1

בבחינה של מספר מחזורי הווסת מקביעת וסת קבוע ועד לסיום שלו, צריך להפריד בין הנתונים של וסת קבוע שנעקר לבין וסת קבוע שטרם עקירתו הדיווח על מחזורי הווסת הופסק.

הטבלה הבאה מפרטת את השכיחות של מספר מחזורי הווסת מקביעת הווסת עד לעקירתו:

מספר מחזורי וסת עד עקירה	שכיחות	שכיחות יחסית
3	11	61%
4	3	17%
7	2	11%
8	1	6%
18	1	6%
סכום	18	100%

הטבלה הבאה מפרטת את השכיחות של מספר מחזורי הווסת מקביעת הווסת עד לסיום הדיווח:

מספר מחזורי וסת עד סיום דיווח	שכיחות	שכיחות יחסית
0	5	38%
2	4	31%
4	1	8%
5	2	15%
7	1	8%
סכום	13	100%

כפי שצוין, במאגר נמצאו 20 נשים שקבעו וסת הפלגה, אולם ראינו שנקבעו 23 מחזורי וסת על ידי רצפים של לפחות 3 מחזורי וסת זהים. הפער מוסבר על ידי 3 שינויי וסת שהתרחשו אצל 2 נשים (10% מהנשים שקבעו וסת הפלגה).

אישה אחת (בעלת הזיהוי mfp8066) קבעה בדיווח מספר 3 מחזור וסת ראשון, עם אורך מחזור וסת של 27 יום. בדיווח מספר 7 היא קבעה מחזור וסת שני עם אורך מחזור וסת של 29 יום, ובדיווח מספר 12 היא קבעה מחזור וסת שלישי, עם אורך מחזור וסת של 28 יום.

אישה נוספת (בעלת הזיהוי mfp8068) קבעה מחזור וסת ראשון בדיווח מספר 4, עם אורך מחזור וסת של 27 יום. בדיווח מספר 8 היא קבעה מחזור וסת שני, עם אורך מחזור וסת של 26 יום, על ידי רצף של 4 מחזורי וסת זהים, והיא נשארה בו כמחזור וסת פעיל (בגלל חזרות על אורך מחזור וסת של 26 יום) עד לסיום הדיווח, בדיווח מספר 13.

וסת ההפלגה כווסת קבוע יחיד

ההערכה הרווחת היא שרוב הנשים אינן מודעות לקביעות וסת שאינן וסת ההפלגה, ועל כן נתייחס לחיזוי שכולל רק את וסת ההפלגה כווסת קבוע יחיד. בפרק ד' יהיה פירוט של הלכות וסתות כיחידה אחת לעניין חיזוי. כפי שראינו, בזמני פעילות וסת הפלגה קבוע, מתקבלים בין 49 חיזויים טובים (כ-43%) לבין 55 חיזויים טובים (כ-48%).

כשבוחנים את 3 עונות הפרישה סמוך לווסת בזמן שאין וסת הפלגה קבוע כחיזוי, מסיקים שעונת ההפלגה חוזה בצורה נכונה 168 מתוך 1322³³ חיזויים (כ-13%), כשמוסיפים לחישוב את העונה הבינונית מגיעים ל-296 חיזויים נכונים (כ-22%) וכשמוסיפים מחזור וסת באורך של 28 ימים, כדי להכליל גם חודשים חסרים, מקבלים כיסוי של 449 חיזויים מדויקים (כ-34%) לעומת 873 חיזויים שגויים (כ-66%). כלומר, במצבים של וסת הפלגה לא קבוע (מבלי להתייחס לשאר סוגי הווסתות הקבועים), עונות הפרישה סמוך לווסת חוזות נכונה בין 22% ל-34% מהמקרים. אם כן, לאישה במצב של וסת קבוע, החיזוי מדויק יותר מאשר החיזוי עבור אישה במצב של וסת שאינה קבוע.

במבט כולל, יוצא שעבור 1,436 חיזויים, עונות הפרישה סמוך לווסת חוזות בצורה מדויקת בין 345 ל-504 מקרים כך שבאחוזים נקבל בין 35% – 24%.³⁴

³³ המספר הכולל של דיווחי מחזורי וסת במאגר הוא 1,554 שדווחו על ידי 118 נשים (אחרי סינון דיווחים של נשים עם פחות מ-5 דיווחים של מחזורי וסת וטיפול בכפילות). החיזויים מתחילים רק לאחר הדיווח הראשון של כל אישה, ומסתיימים בדיווח האחרון. אז מספר החיזויים הכולל יוצא $1,436 = 1,554 - 118$. מספר החיזויים בווסת קבוע הוא 114, אז מספר החיזויים בווסת לא קבוע הוא 1,322.

³⁴ פירוט רחב יותר מופיע בפרק ד'.

וסתות דילוג

כדי לקבוע וסת הפלגה בדילוג, צריכים להיות 3 מחזורי וסת עוקבים שיוצרים סדרה חשבונית עולה. לדוגמה, סדרת 6 הדיווחים³⁵ של האישה בעלת הזיהוי nfp8026 הייתה $26 \rightarrow 31 \rightarrow 27 \rightarrow 28 \rightarrow 29 \rightarrow 31$, כך שבדיווח ה-5 היא קבעה וסת הפלגה בדילוג של יום 1 בין ההפלגות.

כדי לקבוע וסת הפלגה בדילוג למפרע, צריכים להיות 3 מחזורי וסת עוקבים שיוצרים סדרה חשבונית יורדת. לדוגמה, סדרת הדיווחים 4 – 7 של האישה בעלת הזיהוי nfp8306 הייתה $27 \rightarrow 29 \rightarrow 31 \rightarrow 33$, כך שהיא קבעה וסת הפלגה בדילוג של 2 ימים למפרע (במילים אחרות, סדרה חשבונית עם הפרש של -2).

יש מחלוקת האם הקביעות של וסת הדילוג נקבעת על ידי 3 מחזורי וסת (בין 4 וסתות) שיוצרים סדרה חשבונית, מכיוון שיש 3 הפלגות עם חוקיות, או על ידי 4 מחזורי וסת (בין 5 וסתות), מכיוון שהחוקיות צריכה לחזור על עצמה 3 פעמים כדי להיקבע.³⁶ בפרק זה נתייחס לניתוח הנתונים לפי הדעה הראשונה³⁷. בנספחים מופיעה טבלה שמתארת את הקביעות אצל 4 הנשים שתאמו את הדעה השנייה.

מתוך 118 הנשים במאגר, 23 נשים (כ-19%) קבעו וסת הפלגה בדילוג, 30 (כ-25%) קבעו וסת הפלגה בדילוג למפרע. 5 נשים קבעו את 2 סוגי וסתות הדילוג, כלומר בסך הכולל היו 48 נשים (כ-41%) שקבעו וסת הפלגה בדילוג רגיל או למפרע.

הטבלה הבאה מפרטת את מספר קביעות הוסת לכל ערכי הדילוג שהופיעו:

הפרש דילוג	שכיחות	שכיחות יחסית	שכיחות מצטברת
-3	2	3%	3%
-2	7	12%	16%
-1	24	41%	57%
1	20	34%	91%
2	5	9%	100%
סכום	58	100%	100%

מספר קביעות הוסתות (58) גדול ממספר הנשים שקבעו וסת דילוג (48), מכיוון שהיו 7 נשים שקבעו 2 סוגי וסתות דילוג, ואישה נוספת שקבעה 4 סוגי וסתות דילוג. בנוסף לכך היו עוד 2 תופעות שהובילו בסך הכולל לעוד 7 רצפים של 3 דילוגים שלא נספרו לקביעות וסת:

³⁵ עם תוספת 1 לאורכי מחזורי הוסת, כדי להגיע לצורת חישוב "עד ועד בכלל".

³⁶ כדעה הראשונה סוברים: פרדס רימונים, סוגה בשושנים, מקור מים חיים, לחם ושמלה, נחל אשכול, תפארת צבי ונראה שכך סובר הרמ"א. כדעה השנייה סוברים: ש"ך, ט"ז, פרישה, גר"א, חוות דעת, תורת השלמים.

³⁷ מניתוח הנתונים יצא שהיא מועילה יותר לחיזוי.

4 וסתות נקבעו על ידי רצפים של 4 דילוגים שווים, כך שכל מקרה כזה יכול להיספר כ-2 רצפים של 3 דילוגים. בנוסף לכך, היו 3 נשים שלפני שנעקר להן וסת הדילוג, הגיע להן רצף נוסף של 3 מחזורי וסת עם אותו הדילוג שנקבע מתחילה³⁸.

מתוך 703 מחזורי וסת של נשים שקבעו וסת הפלגה בדילוג, מספר מחזורי הווסת של מצבים בהם יש וסת דילוג קבוע בפועל היה 199 (כ-28%), מתוכם 21 דיווחים במצב של וסת הפלגה בדילוג קבוע היו בסיום הדיווח של האישה. בנספחים מובאת טבלה עם פירוט שכיחות קביעות הווסת לפי מספר דיווח.

כדי לבחון את איכות החיזוי של הווסת הקבועה הזו, נפחית 21 מתוך מחזורי וסת בהם הווסת הקבוע היה פעיל, מכיוון שזהו מספר מצבי הווסת שעבורם לא היה חיזוי על העתיד. יש לציין של-2 נשים הייתה קביעת וסת דילוג עם דילוג שונה, ביחד עם תהליך עקירת דילוג קודם, ולכן החיזוי במקרים האלו היה שגוי, כיוון שהחשש של הדילוג המקורי לא התמשש. מתוך 178 חיזויים במצב של וסת הפלגה בדילוג, 26 היו מוצלחים (כ-15%) ו-152 היו שגויים (כ-85%).

מתוך 58 הווסתות שנקבעו, 37 נעקרו ו-21 לא נעקרו עד סיום הדיווח. בטבלאות הבאות ניתן לראות את ההמשכיות של הווסת, כלומר לאורך כמה מחזורי וסת נשאר המצב של הווסת הקבוע, או כמה מחזורי וסת היו מקביעת הווסת (כולל הקביעה עצמה) ועד לסיום הדיווח של האישה.

מחזורי וסת עד עקירה	שכיחות	יחסית	מצטברת
3	25	68%	68%
4	2	5%	73%
5	5	14%	86%
6	3	8%	95%
8	1	3%	97%
11	1	3%	100%
סכום	37	100%	100%

מחזורי וסת עד סיום דיווח	שכיחות	יחסית	מצטברת
0	5	24%	24%
1	10	48%	71%
2	3	14%	86%
3	1	5%	90%
4	1	5%	95%
10	1	5%	100%
סכום	21	100%	100%

³⁸ אצל 2 מתוך ה-3 הרצף השני הגיע מיד אחרי הרצף הראשון.

וסת השבוע נקבע על ידי הגעה של 3 וסתות בימי שבוע זהים, כאשר ביניהם יש 2 מחזורי וסת בעלי אורך זהה. בפועל במאגר זה נמצא שהתופעה קיימת רק עבור אורך מחזור וסת של 29 ימים³⁹. כלומר אם הגיע רצף של 2 מחזורי וסת באורך של 29 ימים, לאישה נקבע וסת השבוע. לווסת השבוע יש 2 מאפיינים ייחודיים:

- א. נקבע על ידי 3 וסתות ולא על ידי 3 מחזורי וסת.
 - ב. חוששים ליום השבוע שנקבע ולא להפרש הימים. לכן לדוגמה אם נקבע הוסת ליום שלישי, עם אורך מחזור וסת של 29 יום, ואורך מחזור הוסת שלאחר מכן היה של 30 ימים (ביום רביעי), הצפי לווסת שנובע מהוסת הקבוע, יהיה מחזור וסת באורך של 28 יום שתואם הגעת וסת ביום שלישי.
- בנוסף למאפיינים אלו, חשוב לציין שישנה חפיפה בין וסת השבוע לווסת ההפלה, מכיוון שווסת הפלה של 29 ימים נקבע לאחר רצף של 3 מחזורי וסת באורך זהה, לעומת וסת השבוע שנקבע לאחר רצף של 2 מחזורי וסת בלבד. יש מחלוקת האם לאחר שנקבע וסת הפלה באורך של 29 יום, האם צריך לחשוש רק לווסת ההפלה או גם לווסת השבוע⁴⁰. וסת השבוע נקבע אצל 26 נשים (כ-22%), כאשר אצל 5 מתוכם הייתה חפיפה בין וסת השבוע לבין וסת ההפלה⁴¹.

מתוך 424 מחזורי וסת של נשים שקבעו וסת השבוע, מספר מחזורי הוסת של מצבים בהם היה וסת השבוע קבוע בפועל הוא 90 (כ-21%). אצל 15 מתוך 26 הנשים שקבעו וסת השבוע, הדיווח האחרון היה במצב של וסת השבוע קבוע פעיל, לכן כדי לבחון את איכות החיזוי של וסת השבוע, נפחית 15 מחזורי וסת מתוך מחזורי הפעילות, כדי לקבל את מספר החיזויים שצריך לבחון. מתוך 75 חיזויים במצב של וסת השבוע, 11 היו מוצלחים (כ-15%) ו-64 היו שגויים (כ-85%). אולם יש לציין ש-8 מתוך החיזויים המוצלחים היו כאלה שהגיעו עם וסת הפלה, כלומר היו רק 3 חיזויים מוצלחים שהגיעו בזכות וסת השבוע מבלי להחשיב את החיזויים שתואמים גם את וסת ההפלה.

אצל 26 שקבעו וסת השבוע, נקבע סוג הוסת הזה בסך הכול 32 פעמים. כפי שצוין, 15 פעמים מתוכם לא נעקרו, מכיוון שהופסק הדיווח. 6 דיווחים הופסקו מיד בקביעת וסת השבוע. 9 הפסקות הדיווחים הנוספים התחלקו בשווה בין דיווחים על 3 – 1 מחזורי וסת נוספים מקביעת הוסת. שאר 17 הוסתות שנקבעו התפלגו בצורה הבאה: 15 נעקרו לאחר 3 מחזורי וסת, וסת קבוע אחד נעקר לאחר 4 מחזורי וסת, ווסת קבוע אחד נעקר לאחר 6 מחזורי וסת.

³⁹ בהתאמה לספירה של "עד ועד בכלל", מדובר על אורך מחזור וסת של 28 ימים לפי המופיע במאגר. ההדגשה שהווסת נקבע רק עבור מחזור וסת באורך של 29 ימים באה להוציא את האפשרויות של 22 ו-36 ימים.

⁴⁰ בין הסוברים שיש לחשוש רק לווסת ההפלה: פתחי תשובה, חוות דעת, סדרי טהרה, טהרת ישראל, ערוך השולחן. בין הסוברים שיש לחשוש ל-2 סוגי הוסתות: פרדס רימונים, מחצית השקל וחכמת אדם. את החישובים בפרק ד' ביצעתי לפי הדעה שיש לחשוש ל-2 הוסתות.

⁴¹ כל 5 הנשים שנספרו לעיל בטבלה על קביעת וסת הפלה באורך מחזור וסת של 29 יום.

בדומה לווסת השבוע, יש מחלוקת האם יכול להיקבע וסת השבוע בדילוג על ידי 3 וסתות עם הפרש זהה של 30 יום ביניהם (בספירה של "עד ועד בכלל"), בצורה כזו שיום השבוע שבו מגיע הווסת מתקדם ביום אחד⁴² בכל הגעת וסת.⁴³ כמו בווסת השבוע, יש חפיפה בין וסת השבוע בדילוג לווסת ההפלה, מכיוון שווסת הפלה של 30 ימים נקבע לאחר רצף של 3 מחזורי וסת באורך זהה, לעומת וסת השבוע בדילוג, שנקבע לאחר רצף של 2 מחזורי וסת בלבד. וסת השבוע בדילוג נקבע אצל 18 נשים (כ-15%), כאשר אצל 3 מהן הייתה חפיפה בין וסת השבוע בדילוג לבין וסת ההפלה⁴⁴.

מתוך 245 מחזורי וסת של נשים שקבעו וסת השבוע בדילוג, מספר מחזורי הווסת של מצבים בהם היה וסת השבוע קבוע בפועל הוא 63 (כ-26%). אצל 6 מתוך 18 הנשים שקבעו וסת השבוע, הדיווח האחרון היה במצב של וסת השבוע קבוע פעיל, לכן כדי לבחון את איכות החיזוי של וסת השבוע בדילוג, נפחית 6 מחזורי וסת מתוך מחזורי הפעילות, כדי לקבל את מספר החיזויים שצריך לבחון. מתוך 57 חיזויים במצב של וסת השבוע בדילוג, 10 היו מוצלחים (כ-18%) ו-47 היו שגויים (כ-82%). אולם יש לציין ש-5 מתוך החיזויים המוצלחים היו כאלה שהגיעו עם וסת הפלה, כלומר היו 5 חיזויים מוצלחים שהגיעו בזכות וסת השבוע מבלי להחשיב את החיזויים שתואמים גם את וסת ההפלה.

אצל 18 הנשים שקבעו וסת השבוע בדילוג, נקבע סוג הווסת הזה בסך הכולל 18 פעמים (פעם אחת בלבד אצל כל אישה). כפי שצוין, 6 פעמים מתוכן לא נעקרו מכיוון שהופסק הדיווח: 2 דיווחים הופסקו מיד בקביעת וסת השבוע. 4 סיומי הדיווחים הנוספים התחלקו בשווה בין דיווח על מחזור וסת נוסף 1 מקביעת הווסת, ובין דיווחים על 2, 4 ו-5 מחזורי וסת נוספים מקביעת הווסת. שאר 12 הווסתות שנקבעו התפלגו בצורה הבאה: 7 נעקרו לאחר 3 מחזורי וסת, וסת קבוע אחד נעקר לאחר 4 מחזורי וסת, ו-4 נעקרו לאחר 5 מחזורי וסת.

⁴² לא נתייחס במחקר זה לאפשרות שווסת השבוע בדילוג יכול לתאר כל התקדמות קבועה של ימים מימי השבוע. לדוגמה, התקדמות של שני ימים תהיה מיום ראשון ליום שלישי, לאחר מכן לחמישי, לשבת, לשני, לרביעי, לששי וחוזר חלילה. ההתייחסות במחקר זה רק לאפשרות של התקדמות ביום שבוע אחד.

⁴³ בין הסוברים שווסת השבוע בדילוג יכול להיקבע: חוות דעת, כרתי ופלתי, מסגרת השולחן. בין הסוברים שאין קביעות כזו: סדרי טהרה, מלבושי טהרה, מקור חיים, דרכי תשובה, בעל ההפלה.

⁴⁴ כל 3 הנשים שנספרו לעיל בטבלה על קביעת וסת הפלה באורך מחזור וסת של 30 יום.

וסת דילוג בתוך דילוג

וסת דילוג בתוך דילוג נקבע כאשר ההפרשים בין אורכי מחזורי הווסת יוצרים סדרה חשבונית עולה. כלומר אם נסמן את סדרת אורכי מחזורי הווסת באות a כך שמחזור הווסת בדיווח ה- n יוצג כ- a_n , אז עבור $n > 1$ נוכל לסמן סדרה חדשה $b_n = a_n - a_{n-1}$. קביעות של וסת דילוג בתוך דילוג מתארת מצב שבו הסדרה b_n היא סדרה חשבונית בעלת הפרש קבוע $d = b_n - b_{n-1}$ בין כל איברי הסדרה. למעשה, קביעות של וסת הדילוג הרגיל מתארת מצב שבו ההפרשים קבועים, כלומר $b_n = b_{n-1} = \dots = b_1$, ולכן היא מקרה פרטי של וסת דילוג בתוך דילוג עם $d = 0$. מסיבה זו נערך קיזוז מספירת קביעות הווסת מסוג דילוג בתוך דילוג, של המקרים עבורם התקיים $d = 0$. כמו כן, וסתות ההפלגה שנקבעו עם רצף של יותר מ-3 הפלגות זהות הן גם מקרה פרטי של דילוג בתוך דילוג עם הפרש בין הדילוגים $d = 0$.

לגבי וסת הפלגה בדילוג, יש מחלוקת האם הוא נקבע על ידי 3 מחזורי וסת או על ידי 3 דילוגים. בעבודה זו, ניתוח הנתונים מותאם לדעה שווסת הפלגה בדילוג נקבע בעזרת 3 מחזורי וסת, שיוצרים 2 דילוגים זהים. לעומת זאת, לגבי וסת דילוג בתוך דילוג, לא מסתבר שהוא ייקבע על ידי 3 מחזורי וסת, כיוון שבין 3 מחזורי וסת יהיה רק הפרש d אחד בין הדילוגים. הפרש בודד אינו מעיד על חוקיות⁴⁵, לכן כדי לשמר את הרף התחתון של 2 הפרשים זהים d , את ניתוח הנתונים אעשה בהנחה שווסת דילוג בתוך דילוג נקבע על ידי רצף של 4 מחזורי וסת.

לאחר הקיזוזים, נמצא שמספר הנשים שקבעו וסת דילוג בתוך דילוג הוא 23. מספר קביעות הווסת מהסוג הזה היו 27. בטבלה הבאה מותאמות שכיחויות להפרשי הדילוגים d שנקבעו.

הפרש דילוגים	שכיחות	שכיחות יחסית
-6	1	4%
-2	3	11%
-1	5	19%
1	11	41%
2	2	7%
3	3	11%
4	2	7%
סכום	27	100%

כדי לבחון את איכות החיזוי של הווסת הזו, יש לתאר קודם את החיזוי עצמו, בדגש על מהו החיזוי לאחר סטייה מהווסת. במיוחד מאחר שבכל קביעות הווסת מהסוג הזה, ללא יוצא מן הכלל, מחזור הווסת

⁴⁵ אם היינו מניחים שקביעות הווסת מתרחשת על ידי 3 מחזורי וסת, לא היו רלוונטיות כל הלכות פרישה סמוך לווסת עבור מצב שאין בו וסת קבוע מלבד תרחישים בהם עוד לא היו 3 מחזורי וסת (תחילת הגעת הווסת, אחרי לידה ועוד), מפני שבין כל 3 מחזורי וסת a_i, a_{i+1}, a_{i+2} קיימים הפרשים b_i, b_{i+1} שעבורם יש $d_i = b_{i+1} - b_i$ מתאים. לכן היה נקבע וסת דילוג בתוך דילוג לכל רצף של 3 מחזורי וסת.

שהגיע מיד אחרי קביעת הווסת לא שמר על הקביעות. השאלה העומדת בפנינו היא האם הקביעות דומה לווסת הפלגה בדילוג, שבה אם יש סטייה מהקביעות, בודקים האם מחזור הווסת הבא יוצר את הדילוג הקבוע ביחס למחזור הווסת הקודם, או שמא הקביעות דומה לקביעות של וסת השבוע ושל וסת השבוע בדילוג, שבהן בודקים האם מחזור הווסת הבא תואם את יום השבוע הצפוי על פי קביעת הווסת המקורית.

האפשרות הראשונה היא שעבור קביעת וסת עם שני הפרשים ראשוניים זהים בין הדילוגים $d_1 = d_2$ והפרש עוקב שסוטה מהקביעות d_3 (כך ש- $d_1 \neq d_3$) נצפה שההפרש הבא בין הדילוגים יהיה d_1 . לאחר 3 מקרים של הפרש בין דילוגים ששונים מ- d_1 קביעות הווסת נפסקת. כלומר צריך להגיע רצף $d_i, d_{i+1}, d_{i+2} \neq d_1$. לדוגמה עבור סדרת מחזורי הווסת $\{a_n\}_{n=8}^{14}$ בדיווחים 8 – 14 של האישה בעלת הזיהוי nfp8152:

$$27 \rightarrow 26 \rightarrow 26 \rightarrow 27 \rightarrow 25 \rightarrow 27 \rightarrow 30$$

סדרת הדילוגים בין מחזורי הווסת $\{b_n\}_{n=9}^{14}$ כאשר $b_n = a_n - a_{n-1}$ היא

$$-1 \rightarrow 0 \rightarrow 1 \rightarrow -2 \rightarrow 2 \rightarrow 3$$

סדרת ההפרשים בין הדילוגים $\{d_n\}_{n=10}^{14}$ כאשר $d_n = b_n - b_{n-1}$ היא

$$1 \rightarrow 1 \rightarrow -3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$$

שני ההפרשים הראשונים בין הדילוגים הם $d_{10} = d_{11} = 1$, ולכן נקבע וסת דילוג בתוך דילוג. מכיוון שמתקיים $d_{12}, d_{13} \neq d_{10} = 1$, אם היה מתקיים שגם ההפרש האחרון בין הדילוגים d_{14} היה שונה מ-1 הקביעות הייתה נעקרת, אולם הקביעות נשמרה מכיוון שהתקיים $d_{14} = 1$. לפי גישה זו נסמן את סדרת החיזויים ב- f_n כאשר הנוסחה לחיזוי הצפוי עבור מחזור וסת a_n היא:

$$f_n = a_{n-1} + b_{n-1} + d$$

כאשר a_{n-1} הוא אורך מחזור הווסת האחרון, b_{n-1} הוא ההפרש בין מחזור הווסת האחרון לזה שקדם לו, d הוא הפרש הדילוגים שנקבע. במקרה של סדרת הדיווחים לעיל, נקבל החל מקביעת הווסת את סדרת החיזויים $\{f_n\}_{n=12}^{14}$ הבאה

$$29 \rightarrow 24 \rightarrow 30$$

האפשרות השנייה לחיזוי חוזה החל מהקביעה את המשך הסדרה שאמורה להתמשך. כדי לבנות נוסחה לחיזוי, נתבונן בתכונות הווסת: הדילוגים שהם ההפרשים בין אורכי מחזורי הווסת יוצרים סידרה חשבונית, כך שמתקיים $b_{i+1} - b_i = d$ ולכן

$$b_{i+n} = b_i + n \cdot d$$

הצפי ל- b_{i+n} הוא $b_{i+n} = a_{i+n} - a_{i+n-1}$, מכיוון שהחוקיות הזו צפויה להתמשך, בעזרת שתי המשוואות נקבל

$$a_{i+n} = a_{i+n-1} + b_i + n \cdot d$$

לצורך הסדר, נסמן את סדרת החיזויים $\{g_n\}_{n=i+1}^N$ שתתחיל לאחר מחזור וסת a_i ועד עקירת הווסת בדיווח מספר N ונקבל את הנוסחה:

$$\forall n > 0: g_{i+n} = g_{i+n-1} + b_i + n \cdot d$$

למעשה, כדי לתאר את סדרת החיזויים כראוי, נציג תנאי ההתחלה ונוסחת רקורסיה בשני אופנים שקולים, שגם יתאימו לצורת הכתיבה שהוצגה עבור f_n :

$$\begin{cases} g_{i+1} = a_i + b_i + d \\ \forall n > i + 1: g_{n+1} = g_n + b_n + d \end{cases}$$

$$\begin{cases} g_{i+1} = a_i + b_i + d \\ \forall n > i + 1: g_{n+1} = g_n + b_i + (n - i + 1) \cdot d \end{cases}$$

ועבור סדרת מחזורי הווסת לעיל, עם קביעת הווסת במחזור $a_{11} = 27$ עם דילוג $b_{11} = 1$ ועם הפרש דילוגים $d = 1$ נקבל את נוסחאות החיזויים

$$\begin{cases} g_{12} = a_{11} + b_{11} + d = 27 + 1 + 1 = 29 \\ g_{n+1} = g_n + b_{11} + (n - 11 + 1) \cdot d = g_n + 1 + (n - 10) = g_n + n - 9 \end{cases}$$

אם כן, עבור סדרת מחזורי הווסת

$$27 \rightarrow 26 \rightarrow 26 \rightarrow 27 \rightarrow 25 \rightarrow 27 \rightarrow 30$$

סדרת החיזויים $\{g_n\}_{n=12}^{14}$ עבור 3 מחזורי הווסת האחרונים תהיה

$$29 \rightarrow 32 \rightarrow 36$$

מכיוון שאין התאמה בין חיזויים אלה לאורכי מחזורי הווסת שהגיעו בפועל, לפי אפשרות חיזוי זו קביעות הווסת תיפסק.

לדעתי האפשרות הראשונה תואמת יותר, ולו מכיוון שהסדרה $\{g_n\}$ מתבדרת ל- ∞ (או $-\infty$) לעומת הסדרה $\{f_n\}$ שיכולה להמשיך את הקביעות עם אורכי מחזורי וסת הגיוניים. את המשך ניתוח הנתונים אעשה לפי החיזוי $\{f_n\}$.

מתוך 27 קביעות וסת דילוג בתוך דילוג, ב-11 הסתיים הדיווח לפני שנעקר הווסת. ספירת מספר מחזורי הווסת במצב של וסת קבוע עד הדיווח האחרון מוצגת על פי טבלת השכיחויות הבאה :

מספר מחזורי וסת קבוע עד סיום דיווח	שכיחות	שכיחות יחסית
0	3	27%
1	3	27%
2	2	18%
3	1	9%
4	1	9%
5	1	9%
סכום	11	100%

בשני מקרים (שלא נספרו בטבלה לעיל, אלא בטבלה להלן) עקירת הווסת התרחשה בדיווח האחרון. ספירת מספר מחזורי הווסת במצב של וסת קבוע עד עקירתו מוצגת על פי טבלת השכיחויות הבאה :

מספר מחזורי וסת קבוע עקירה	שכיחות	שכיחות יחסית
3	13	81%
4	1	6%
5	1	6%
6	1	6%
סכום	16	100%

מתוך 359 מחזורי הווסת של נשים שקבעו וסת דילוג בתוך דילוג, היו 85 (כ-23%) מחזורי וסת במצב של וסת קבוע. בקיזוז 11 הקביעות שהופסקו בדיווח האחרון, נותרו 74 חיזויי מחזור וסת. מתוך 74 החיזויים, 7 היו מוצלחים (כ-9%) ו-67 היו שגויים (כ-91%).

וסת דילוג חוזר חלילה

וסת קבוע מסוג דילוג חוזר חלילה נקבע על ידי סדרות זהות של 3 מחזורי וסת, בעלי מאפיין של וסת הדילוג. לדעת רב, החוקיות נקבעת על פי 3 סדרות זהות, ולדעת שמואל, על פי 2 סדרות זהות.⁴⁶ לדוגמה, סדרת אורכי מחזורי הווסת הבאה מתארת קביעת וסת דילוג חוזר חלילה לפי שיטת רב

$$28 \rightarrow 29 \rightarrow 30 \rightarrow 28 \rightarrow 29 \rightarrow 30 \rightarrow 28 \rightarrow 29 \rightarrow 30$$

למיטב הבנתי, ההלכה נפסקה כרב, לפי ההנחה הזו, וסת זה לא נקבע אצל אף לא אחת מ-118 הנשים המדווחות במאגר זה. מכיוון שכך, נציין 2 מקרים שהיו קרובים לקביעת וסת זה. אצל האישה בעלת הזיהוי nfp8040 התקבלה סדרת מחזורי וסת בת שמונת הדיווחים הבאים:

$$30 \rightarrow 29 \rightarrow 30 \rightarrow 31 \rightarrow 29 \rightarrow 30 \rightarrow 31 \rightarrow 30$$

כלומר במחזורי דיווח 7 – 2 נקבע וסת דילוג חוזר חלילה לפי שיטת שמואל, ולפי שיטתו החיזוי היחיד שהיה במצב של וסת קבוע לא היה מוצלח.

מקרה שני הוא של האישה בעלת הזיהוי nfp8041 שאצלה התקבלה סדרת מחזורי וסת בת 11 הדיווחים הבאים:

$$31 \rightarrow 33 \rightarrow 32 \rightarrow 31 \rightarrow 33 \rightarrow 32 \rightarrow 31 \rightarrow 34 \rightarrow 31 \rightarrow 27 \rightarrow 30$$

גם בסדרה זו ניתן למצוא קביעות לשיטת שמואל בין דיווחים 7 – 2, אולם כאן יש לציין שייתכן שהדיווחים שקדמו לדיווחים האלו, עשויים היו להציג קביעות וסת גם לשיטת רב. בדוגמה זו, כמו בסדרת הדיווחים הקודמת שהוצגה, מקביעת הווסת ועד להפסקת הקביעות בדיווח ה-10, חיזויי הווסת (זמני הפרישה סמוך לווסת לפי קביעות הווסת) לא תאמו את יום הווסת.

⁴⁶ הגישות של רב ושמואל חוזרות על עצמן במספר נושאים לגבי המושג שנקרא 'חזקה', כפי שפורט במאמר "בעניין חזקת ג' פעמים" (מרצבך והרשקוביץ, תשע"א).

לאחר מציאת שכיחויות התופעות השונות של קביעות וסת, עולה השאלה האם הנתונים שהתקבלו מצביעים על תופעות קיימות או שמא צפויים להתקבל נתונים דומים גם בדגימות אקראיות בלתי תלויות. כדי להתמודד עם שאלה זו, הוצעו שתי גישות שמתבססות על ההתפלגות שכוללת את כלל מחזורי הווסת במאגר הנתונים:

1. חישוב הסתברויות קביעת וסתות מסוגים שונים.
2. בדיקת השערות בעזרת סימולציות מדגמים.

עבור בדיקה הסתברותית יש להגדיר את המשתנים המקריים עבור 118 נשים עם כמויות דיווחים דומות לאלו שבמאגר, בצורה כזו שעבור סך המשתנים המקריים $X_1 - X_{118}$, שמייצגים את משתני סדרות הדיווחים של כל הנשים, נספור את מספר קביעות הווסת מכל סוג על ידי המשתנים המקריים: דילוג בתוך דילוג, שבוע בדילוג, שבוע, X , דילוג, הפלגה. עבור כל משתנה מקרי כזה יש לחשב את ההסתברויות לכל כמות קביעות וסת אפשרית. בצורה זו יהיה ניתן לחשב את ההסתברויות לקבלת הנתונים שהתקבלו בפועל במאגר. כמו כן, בעזרת הסתברויות אלה אפשר יהיה לחשב תוחלות ורווח סמך, וכך לבחון האם התוצאות שהתקבלו הן מובהקות.

דרך הפעולה עבור גישה זו נראית ברורה, אבל סיבה ראשונה שבגללה אפשרות זו הינה מורכבת, היא צורת חישובי ההסתברויות עבור מספר קביעות הווסת. לדוגמה: עבור וסת ההפלגה, נדמה היה שאפשר לחשב את ההסתברויות לקבלת רצפי אורכי מחזורי וסת מהצורה $29 \rightarrow 29 \rightarrow 29$ בעזרת חישוב ההסתברות $P(X_{ij} = 29) \cdot P(X_{ij+1} = 29) \cdot P(X_{ij+2} = 29)$. אבל חישוב כזה מתאר הסתברויות להגעת 3 מחזורי וסת עוקבים, ואם נכפיל 2 הסתברויות כאלה נקבל תיאור של 6 מחזורי וסת עוקבים ולא של 4 כפי שהיינו מבקשים.

סיבה שנייה שבגללה האפשרות הזו מורכבת, היא התלות שיש בין סוגי קביעות וסת שונים, כפי שנראה בפרק ה'. בגלל התלות שיש בין קביעת וסת ההפלגה לבין קביעת וסת דילוג בתוך דילוג, והתלות שיש בין קביעת וסת דילוג לבין קביעת וסת השבוע בדילוג, לא ניתן לחשב את ההסתברויות עבור מספר קביעות הווסת בנפרד זו מזו.

פתרון לשתי בעיות אלו ניתן היה למצוא בבניית שרשראות מרקוב: שרשרת מרקוב נפרדת עבור כל סוג קביעות וסת שאינו תלוי בסוגים האחרים, ושרשראות מרקוב נפרדות עבור סוגי קביעות וסתות שתלויים זה בזה. אולם בניית כמות גדולה כזו של מודלים, שעבור כל אחד מהם יש מספר רב של מצבים, היא מעבר למטרות מחקר זה. אם אצליח בעתיד לפתח טכניקת איגוד שתאפשר התייחסות להסתברויות מעבר שונות גם לאחר איגוד המצבים, כפי שמוסבר בפרק ז', אני מקווה שאוכל לפרסם מחקר המשך שיציג את מערכות המצבים האלו. מסיבות אלו נבחר לקבל אמת מידה לאקראיות הנתונים בעזרת סימולציה.

בחינת השערת אקראיות הנתונים – גישת דגימת התפלגות מולטינומית

תחילה, נבחר את הנתונים שנבחן עבורם את מידת האקראיות שהייתה עשויה להוביל אליהם. עבור וסת ההפלגה התקבלו 26 רצפי מחזורי וסת זהים בגודל של לפחות 3, עבור וסת הדילוג התקבלו 61 רצפי דילוגים בגודל של לפחות 3. בשני סוגי הווסתות האחרונים נחשיב את שכיחויות הרצפים, למרות שחלק מהרצפים הגיעו ללא קביעת וסת חדש. עבור וסת השבוע ועבור וסת השבוע בדילוג התקבלו 32 ו-18 קביעות וסת בהתאמה, כולל חפיפות עם קביעות וסת ההפלגה. עבור וסת הדילוג בתוך דילוג התקבלו 27 קביעות וסת.

ניצור בעזרת נתונים אלה וקטור נתונים, עבורו נבחן את האקראיות:

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} 26 \\ 61 \\ 32 \\ 18 \\ 27 \end{pmatrix}$$

בדומה לשיטת הסימולציה שהציגו קינג ואחרים (King et al, 2020), כדי שההדמיה תהיה נאמנה למקור, נגדיר משתנה מקרי X שיהיה בעל התפלגות זהה להתפלגות אורכי מחזורי הווסת הכוללת של מאגר הנתונים. עבור כל אורך מחזור וסת, השכיחות היחסית תבטא את ההסתברות שמאורע בודד של X יהיה שווה לו. כך לדוגמה עבור $P(X = 32)$ נתבונן בשכיחות היחסית של אורך מחזור הווסת של 32 ימים בטבלת ההתפלגות שבעמוד הבא (שמותאמת לספירת "עד ועד בכלל") ונסיק שהתוצאה היא $P(X = 32) = \frac{109}{1,554} \approx 7\%$

כדי לבצע הגרלה לנתונים שיחליפו את נתוני מאגר הנתונים, נגדיר את סדרות המשתנים המקריים לפי חלוקת מספר דיווחי מחזורי הווסת של כל אישה, כפי שמופיע במאגר במקור (אחרי סינון הנתונים). לאחר כל הגרלה יבוצע חישוב של שכיחויות רצפי מחזורי הווסת שמתאימים לקביעות סוגי הווסתות השונים, בדומה לווקטור \vec{v} . הגרלות וחישובים מסוג זה יחושבו 150 פעמים, כך שבסך הכול תבוצע הגרלת 233,100 מחזורי וסת על בסיס התפלגות המקור.

בוצעו 2 פעולות ביקורת על ביצוע ההגרלה: ממוצע ממוצעי כל ההגרלות יצא 30.274 (כאשר הממוצע המצופה הוא 30.271) ובנוסף נערך וידוא שהספירה של הרצפים וקביעות הווסת עבור הנתונים המקוריים, אכן מובילה לווקטור \vec{v} .

$X = k$	$P(X = k)$	$C.D.F$
19	1/777	1/777
20	1/1,554	1/518
21	1/1,554	2/777
22	2/777	4/777
23	1/777	5/777
24	17/1,554	9/518
25	23/777	73/1,554
26	53/777	179/1,554
27	179/1,554	179/777
28	97/777	92/259
29	75/518	1/2
30	25/222	68/111
31	47/518	1,093/1,554
32	109/1,554	601/777
33	7/111	650/777
34	5/111	685/777
35	5/222	1,405/1,554
36	41/1,554	241/259
37	25/1,554	1,471/1,554
38	19/1,554	745/777
39	23/1,554	1,513/1,554
40	1/222	760/777
41	13/1,554	73/74
42	2/777	1,537/1,554
43	1/222	772/777
44	1/518	221/222
45	1/1,554	258/259
46	1/777	775/777
49	1/1,554	517/518
50	1/1,554	776/777
52	1/1,554	1,553/1,554
55	1/1,554	1

עבור כל הגרלה מתוך 150 ההגרלות, בוצע חישוב לווקטור \vec{v}_i שתואם את התכונות של הווקטור \vec{v} .

לאחר ביצוע כל ההגרלות חושב וקטור ממוצעים לפי כל רכיב - \vec{v}_m , וקטור זה יצא

$$\vec{v}_m = \sum_{i=1}^{150} \frac{\vec{v}_i}{150} = \begin{pmatrix} 11.63 \\ 49.27 \\ 27.89 \\ 14.74 \\ 26.6 \end{pmatrix}$$

משמעות וקטור זה היא שבממוצע, היו צפויים להיות 11.63 רצפים מסוג וסת ההפלה, 49.27 סדרות מסוג וסת הדילוג, 27.89 מסוג וסת השבוע, 14.74 מסוג וסת השבוע בדילוג ו-26.6 מסוג וסת דילוג בתוך דילוג.

בטבלה הבאה מוצג פירוט נוסף על הערכים המינימליים והמקסימליים שהתקבלו עבור כל סוג רצפי קביעות וסת, ובנוסף לממוצע גם את סטיות התקן של דגימות הסימולציה עבור כל סוג וסת בנפרד.

דילוג בתוך דילוג	שבוע בדילוג	שבוע	דילוג	הפלגה	
מקסימום	38	27	43	65	23
מינימום	15	7	14	28	4
ממוצע	26.6	14.74	27.89	49.27	11.63
סטיית תקן	5.05	3.99	4.97	6.76	3.33
נתוני המאגר	27	18	32	61	26

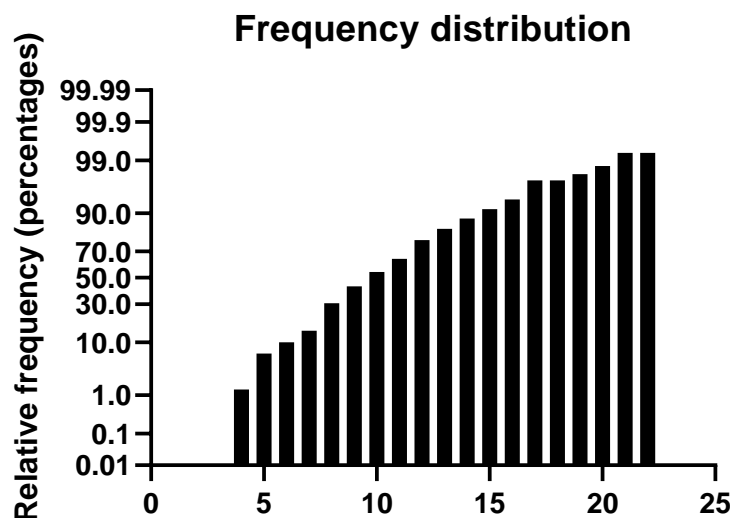
מוקטור הממוצע \vec{v}_m , חושב מרחק עבור כל וקטור התפלגות \vec{v}_i בעזרת הנורמה הסטנדרטית

$$\|\vec{v}_i - \vec{v}_m\|_2 = \sqrt{\sum_{j=1}^5 ([v_i]_j - [v_m]_j)^2}$$

על תוצאות המרחקים האלו בוצע מבחן נורמליות *Kolmogorov – Smirnov*, והתקבלה תוצאה

$$d_{150} = 0.065, \quad P > 0.1$$

כלומר הנתונים עברו את מבחן הנורמליות. מדדי הסטטיסטיקה התיאורית של התפלגות המרחקים מהממוצע הם: מינימום: 4.27, מקסימום: 22.86, חציון: 10.22, אחוזון 25%: 8.07, אחוזון 75%: 12.44. ממוצע: 10.54, סטיית תקן: 3.44. להלן היסטוגרמה של מרחקים מוקטור הממוצעים:



המרחק של וקטור המקור \vec{e} מווקטור הממוצעים \vec{e}_m יצא

$$\|\vec{e} - \vec{e}_m\|_2 = 19.29$$

תוצאה זו גדולה מ-146 תוצאות של הגרלות, כ-97.3%. בחישוב האחוזון של 19.29 עבור התפלגות

נורמלית עם תוחלת ושונות $\mu = 10.54, \sigma = 3.44$, נקבל 99.45%.

תוצאות בדיקות אלו הצביעו על מובהקות מבחינה סטטיסטית, שהתוצאות שהתקבלו במאגר הינן שונות מהתוצאות המצופות להתקבל תחת הנחת אי תלות בין אורכי מחזורי הווסת.

מתוך 118 הנשים המדווחות במאגר, 83 (כ-70%) קבעו לפחות וסת מסוג אחד. נשים אלו קבעו בממוצע 1.63 סוגי וסתות (סטיית תקן 0.93). טבלה שמפרטת את הנשים ואת סוגי הווסתות שנקבעו עבורן מופיעה בנספחים. הטבלה הבאה מפרטת את השכיחויות עבור מספר סוגי הווסתות שנקבעו.

מספר סוגי וסתות שנקבעו	שכיחות	שכיחות יחסית
1	49	59%
2	23	28%
3	5	6%
4	5	6%
5	1	1%
סכום	83	100%

בסך הכולל היו 166 קביעות וסת, כ-1.41 פעמים בממוצע לאישה – אם מסתכלים על המאגר כולו, או 2 פעמים בממוצע לאישה, אם מתמקדים בנשים שקבעו וסת כלשהו. הטבלה הבאה מפרטת את סוגי הווסתות, את מספר הנשים שקבעו כל אחד מהסוגים, את מספר קביעות הווסת, איכות החיזוי של הווסת בעודו קבוע, מספר מחזורי הפעילות של הווסת, ואת אחוז מחזורי הפעילות של הווסת ביחס לכלל דיווחי הנשים שקבעו את אותו סוג הווסת.

סוג וסת	שכיחות אצל נשים	מספר קביעות הווסת	איכות חיזוי	מספר מחזורי פעילות	אחוז מחזורי פעילות
הפלגה	20	31	31%	127	38%
דילוג	48	58	15%	199	28%
שבוע	26	32	15%	90	21%
שבוע בדילוג	18	18	18%	63	26%
דילוג בתוך דילוג	23	27	9%	85	23%

בפרק ד', שדן על יעילות הלכות וסתות בתור חיזוי, נצליב את נתוני הווסתות. אחרי ההצלבה יתברר המספר הכולל המדויק של מחזורי הווסת שבהם היה מצב של וסת קבוע כלשהו. אולם כבר מטבלה זו, מחיבור כל מחזורי פעילות הווסתות, מקבלים ספירה של 564 מחזורי וסת. אזי שגם אם אין חפיפה כלל בין סוגי הווסתות השונים, מקבלים שמתוך כ-1,200 מחזורי וסת פוטנציאליים לווסת קבוע⁴⁷, לכל היותר 47% ממחזורי הווסת של כלל הנשים היו במצבי וסת קבוע.

⁴⁷ מספר מחזורי הווסת הכולל הוא 1,554. וסת השבוע נקבע ב-2 מחזורי וסת, אולם וסת דילוג בתוך דילוג נקבע ב-4 מחזורי וסת. באופן כללי קביעות וסת ב-3 מחזורי וסת. אזי שכדי להגיע למספר מחזורי הווסת שעשויים להיות

בטבלה הבאה מוצגים הממוצעים של אורך משך קביעות הווסתות, כלומר הממוצעים שמחושבים על פי מספר מחזורי הווסת מקביעת הווסת (לא כולל) ועד לעקירתו או סיום הדיווח מצד האישה.⁴⁸

סוג וסת	ממוצע משך קביעות עד עקירה	ממוצע משך קביעות עד סיום דיווח
הפלגה	4.72	2.23
דילוג	3.92	1.57
שבוע	3.24	1.2
שבוע בדילוג	3.75	2
דילוג בתוך דילוג	3.38	1.73

מהנתונים מתקבל שהתופעות של הווסתות הקבועים שכיחות, אולם ברוב המקרים הקביעות אינה נשמרת לאורך זמן.

בבחינת השערת אקראיות הנתונים שהתקבלו במאגר, נדחתה השערת האפס עם רמת מובהקות גבוהה ונקבע שהנתונים אינם נובעים מאקראיות. בבחינה ממוקדת של תוצאות הסימולציה, כשמשווים את וקטור הרצפים וקביעות הווסת \vec{v} עם וקטור ממוצעי הסימולציה \vec{v}_m ומציגים וקטור \vec{v}_p שמתאר את היחס באחוזים בין רכיבי הווקטור \vec{v} לרכיבי הווקטור \vec{v}_m , מתקבלת התמונה שכל שכיחויות קביעות הווסת מופיעות במידה גבוהה מהמצופה:

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} 26 \\ 61 \\ 32 \\ 18 \\ 27 \end{pmatrix}, \quad \vec{v}_m = \begin{pmatrix} 11.63 \\ 49.27 \\ 27.89 \\ 14.74 \\ 26.6 \end{pmatrix}, \quad \vec{v}_p = \begin{pmatrix} 223.6\% \\ 123.8\% \\ 114.7\% \\ 122.1\% \\ 101.5\% \end{pmatrix}$$

וסת דילוג בתוך דילוג מופיע במאגר במידה שמצופה גם על ידי הגרלה אקראית. השכיחויות של וסת הדילוג, וסת השבוע ושל וסת השבוע בדילוג גדולות מהמצופה, השכיחות של וסת ההפלגה גדולה מאוד מהמצופה. יתרה מזאת, וסת ההפלגה הוא סוג קביעות הווסת היחיד שעבורו נתוני המאגר היו גדולים מהערך המקסימלי התואם שהתקבל בסימולציה.

במצב של וסת קבוע, יש להפחית ממספר מחזורי הווסת הכולל את 3 מחזורי הווסת הראשונים עבור כל אישה. בסך הכול: $1,200 = 3 \cdot 118 - 1,554$.
⁴⁸ במחקר עתידי אפשר להוסיף לבחון באיזה "מרחק" מינימלי מעקירת הווסת הסתיים כל דיווח ולהוסיף ערך זה לחישוב הממוצע התאורטי.

שינויי סוג קביעות וסת

טרם נוכל להתייחס לשאלת איכות החיזוי של הלכות וסתות, נתייחס לחפיפות ולמעברים שיש בין סוגי קביעות הווסת השונים. אחת הסיבות לצורך זה היא שכדי לבחון את איכות החיזוי של עונות הפרישה סמוך לווסת, כאשר יש סטייה מווסת קבוע, צריך לוודא שלא נקבע וסת קבוע מסוג שונה – שמונע את הפרישות בעונה הבינונית, ההפלה והחודש.

במאגר נמצאו 20 נשים שקבעו וסת הפלה, אולם צוין שנקבעו 23 מחזורי וסת על ידי רצפים של לפחות 3 מחזורי וסת זהים. הפער מוסבר על ידי 3 שינויי וסת שהתרחשו אצל 2 נשים (10% מהנשים שקבעו וסת הפלה): האישה בעלת הזיהוי $\text{mf}8066$ קבעה בדיווח מספר 3 מחזור וסת הפלה ראשון עם אורך מחזור וסת קבוע של 27 ימים, בדיווח מספר 7 קבעה מחזור וסת שני עם אורך מחזור וסת קבוע של 29 ימים, ובדיווח מספר 12 קבעה מחזור וסת שלישי עם אורך מחזור וסת קבוע של 28 ימים. האישה בעלת הזיהוי $\text{mf}8068$ קבעה בדיווח מספר 4 מחזור וסת הפלה ראשון עם אורך מחזור וסת קבוע של 27 ימים, בדיווח מספר 8 קבעה מחזור וסת שני עם אורך מחזור וסת קבוע של 26 ימים, עם רצף של 4 מחזורי וסת זהים, ונשארה בו כמחזור וסת פעיל (בגלל חזרות על אורך מחזור וסת של 26 יום) עד לסיום הדיווח בדיווח מספר 13.

מבין 83 הנשים שקבעו וסתות, עבור 20 נשים קרתה התופעה של שינוי וסת מקביעות אחת לקביעות מסוג שונה⁴⁹ לפני שהספיקה הקביעות הראשונה להיפסק. להלן מפורטים דיווחיהן של הנשים האלו, ומסומנים רצפי קביעות הווסת (ללא סימון עקירת הווסת).

11 דיווחיה האחרונים (מתוך 45) של האישה בעלת הזיהוי $\text{mf}8122$, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$\overbrace{29 \rightarrow 28 \rightarrow 27}^{\text{דילוג למפרע}} \rightarrow \overbrace{29 \rightarrow 29}^{\text{שבוע}} \rightarrow 25 \rightarrow \overbrace{27 \rightarrow 28 \rightarrow 29}^{\text{דילוג}} \rightarrow 28 \rightarrow 29$$

10 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי $\text{mf}8045$, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$31 \rightarrow 28 \rightarrow 32 \rightarrow \overbrace{30 \rightarrow 30}^{\substack{\text{הפלה} \\ \text{שבוע בדילוג}}} \rightarrow 30 \rightarrow \overbrace{30 \rightarrow 32 \rightarrow 34}^{\text{דילוג}} \rightarrow 32$$

11 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי $\text{mf}8062$, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$36 \rightarrow \overbrace{28 \rightarrow 30 \rightarrow 32}^{\text{דילוג}} \rightarrow \overbrace{32 \rightarrow 32 \rightarrow 32}^{\text{הפלה}} \rightarrow 31 \rightarrow 31 \rightarrow 32 \rightarrow 32$$

⁴⁹ לא נכללו בספירה המעברים לווסת ההפלה מווסת השבוע ומווסת השבוע בדילוג.

31 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי nfp8066, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$\begin{array}{ccccccc}
 & & \text{הפלגה} & & \text{שבוע} & & \text{דילוג למפרע} \\
 & \text{הפלגה} & & & & & \\
 27 \rightarrow 27 \rightarrow 27 \rightarrow 30 \rightarrow 29 \rightarrow 29 \rightarrow 29 \rightarrow 28 \rightarrow 27 \rightarrow 28 \rightarrow 28 \rightarrow 28 \rightarrow 29 \rightarrow 28 \\
 & & & \text{דילוג למפרע} & & \text{שבוע} & & \text{חזרה להפלגה} \\
 & & & 29 \rightarrow 28 \rightarrow 27 \rightarrow 29 \rightarrow 29 \rightarrow 31 \rightarrow 32 \rightarrow 29 \rightarrow 28 \rightarrow 28 \rightarrow 30 \rightarrow 29 \\
 & & & & & \text{שבוע} & & \\
 & & & & & 29 \rightarrow 29 & & \\
 & & & & & \rightarrow 30 \rightarrow 29 \rightarrow 26 \rightarrow 29 \rightarrow 29
 \end{array}$$

15 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי nfp8083, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$33 \rightarrow 31 \rightarrow 28 \rightarrow 30 \rightarrow 28 \rightarrow 28 \rightarrow 29 \rightarrow 28 \rightarrow 29 \rightarrow 29 \rightarrow 30 \rightarrow 31 \rightarrow 25 \rightarrow 31 \rightarrow 26$$

13 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי nfp8091, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$30 \rightarrow 26 \rightarrow 27 \rightarrow 27 \rightarrow 29 \rightarrow 27 \rightarrow 27 \rightarrow 30 \rightarrow 30 \rightarrow 31 \rightarrow 32 \rightarrow 27 \rightarrow 27$$

8 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי nfp8107, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$29 \rightarrow 27 \rightarrow 26 \rightarrow 26 \rightarrow 30 \rightarrow 30 \rightarrow 29 \rightarrow 25$$

13 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי nfp8116, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$32 \rightarrow 28 \rightarrow 29 \rightarrow 31 \rightarrow 29 \rightarrow 29 \rightarrow 30 \rightarrow 28 \rightarrow 27 \rightarrow 31 \rightarrow 30 \rightarrow 29 \rightarrow 29$$

8 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי nfp8193, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$26 \rightarrow 28 \rightarrow 28 \rightarrow 26 \rightarrow 27 \rightarrow 26 \rightarrow 25 \rightarrow 26$$

12 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי nfp8257, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$33 \rightarrow 31 \rightarrow 34 \rightarrow 41 \rightarrow 30 \rightarrow 30 \rightarrow 29 \rightarrow 29 \rightarrow 35 \rightarrow 33 \rightarrow 30 \rightarrow 29$$

22 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי nfp8260, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$35 \rightarrow 34 \rightarrow 32 \rightarrow 31 \rightarrow 34 \rightarrow 35 \rightarrow 31 \rightarrow 33 \rightarrow 31 \rightarrow 33 \rightarrow 33 \rightarrow 32 \rightarrow 31 \rightarrow 31 \rightarrow 31 \\
 \rightarrow 33 \rightarrow 30 \rightarrow 34 \rightarrow 32 \rightarrow 34 \rightarrow 33 \rightarrow 31$$

13 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי nfp8264, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$\overbrace{30 \rightarrow 30}^{\text{שבוע בדילוג}} \overbrace{\rightarrow 29 \rightarrow 28}^{\text{דילוג למפרע}} \rightarrow 30 \rightarrow 29 \rightarrow \overbrace{27 \rightarrow 28 \rightarrow 29}^{\text{דילוג}} \overbrace{\rightarrow 29 \rightarrow 29 \rightarrow 29}^{\text{שבוע}} \overbrace{\rightarrow 29 \rightarrow 29 \rightarrow 29}^{\text{הפלגה}}$$

13 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי nfp8270, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$\overbrace{32 \rightarrow 32 \rightarrow 32}^{\text{הפלגה}} \rightarrow 31 \rightarrow \overbrace{33 \rightarrow 32 \rightarrow 32 \rightarrow 33}^{\text{דילוג בתוך דילוג}} \rightarrow 31 \rightarrow 31 \rightarrow 28 \rightarrow 35 \rightarrow 33$$

12 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי nfp8276, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$27 \rightarrow \overbrace{29 \rightarrow 29}^{\text{שבוע}} \rightarrow \overbrace{26 \rightarrow 28 \rightarrow 30}^{\text{דילוג}} \rightarrow 27 \rightarrow 28 \rightarrow 24 \rightarrow 28 \rightarrow 27 \rightarrow 28$$

12 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי nfp8278, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$28 \rightarrow 28 \rightarrow 27 \rightarrow \overbrace{28 \rightarrow 27 \rightarrow 27 \rightarrow 28}^{\text{דילוג בתוך דילוג}} \rightarrow \overbrace{29}^{\text{דילוג}} \rightarrow 27 \rightarrow \overbrace{29 \rightarrow 29}^{\text{שבוע}} \rightarrow 29 \overbrace{\rightarrow 29}^{\text{הפלגה}}$$

32 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי nfp8289, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$29 \rightarrow 25 \rightarrow 29 \rightarrow 26 \rightarrow 28 \rightarrow 30 \rightarrow 29 \rightarrow 27 \rightarrow \overbrace{30 \rightarrow 29 \rightarrow 28}^{\text{דילוג למפרע}} \overbrace{\rightarrow 28 \rightarrow 28}^{\text{הפלגה}} \rightarrow 27 \rightarrow 27 \rightarrow 28 \rightarrow 28 \rightarrow 30 \rightarrow 28$$

$$\rightarrow \overbrace{28 \rightarrow 27 \rightarrow 27 \rightarrow 28}^{\text{דילוג בתוך דילוג}} \overbrace{\rightarrow 28 \rightarrow 28}^{\text{הפלגה}} \overbrace{\rightarrow 29 \rightarrow 29}^{\text{שבוע}} \rightarrow 28 \rightarrow 25 \rightarrow 30$$

$$\overbrace{\rightarrow 25}^{\text{חזרה להפלגה}} \rightarrow \overbrace{28}^{\text{חזרה להפלגה}}$$

12 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי nfp8306, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$31 \rightarrow \overbrace{29 \rightarrow 29}^{\text{שבוע}} \rightarrow \overbrace{33 \rightarrow 31 \rightarrow 29 \rightarrow 27}^{\text{דילוג למפרע}} \rightarrow 33 \rightarrow 31 \rightarrow 32 \rightarrow 32 \rightarrow 28$$

14 דיווחיה האחרונים (מתוך 33) של בעלת הזיהוי nfp8328, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$\overbrace{31 \rightarrow 31 \rightarrow 31}^{\text{הפלגה}} \rightarrow 24 \rightarrow 29 \rightarrow 30 \rightarrow 33 \rightarrow \overbrace{30 \rightarrow 30}^{\text{שבוע בדילוג}} \rightarrow \overbrace{31}^{\text{חזרה להפלגה}} \rightarrow 29 \rightarrow 30 \rightarrow 32 \rightarrow \overbrace{31}^{\text{חזרה להפלגה}}$$

11 דיווחיה של האישה בעלת הזיהוי nfp8334, היו בהתאמה לספירת "עד ועד בכלל":

$$\overbrace{29 \rightarrow 29}^{\text{שבוע}} \overbrace{\rightarrow 30 \rightarrow 31}^{\text{דילוג}} \rightarrow 31 \rightarrow 33 \rightarrow 30 \rightarrow \overbrace{29 \rightarrow 29}^{\text{שבוע}} \rightarrow 41 \rightarrow 25$$

במאגר הנתונים יש 1,554 דיווחים על מחזורי וסת (לאחר סינונים), מתוכם 420 מחזורי וסת (כ-27%) הגיעו במצב של וסת קבוע. 83 חיוזי וסת קבוע דייקו, 337 לא דייקו, כ-20% הצלחה.⁵⁰ החיוזיים עבור עונת ההפלגה והעונה הבינונית במקרים של סטייה מהווסת הקבוע, לפני שנעקר הווסת ומבלי שנקבע וסת מסוג שונה, הובילו מתוך 217 ניסיונות חיוזי ל-52 חיוזיים מדויקים ו-165 לא מדויקים, כ-24% הצלחה. הכללת מחזור וסת באורך של 29 ימים על מנת לשער את התוספת שיוסיפו חיוזי עונת החודש, תוביל עד ל-78 הצלחות מול 139 כשלונות, כ-36% הצלחה. בסך הכול עם החסרת כפילויות של הצלחות של עונות הפרישה לווסת לאחר סטייה, שהגיעו יחד עם הצלחות חיוזי של הווסתות הקבועים, נקבל שתוצאות החיוזיים של זמני וסתות קבועים הן בין 152 – 130 חיוזיים מוצלחים מול 290 – 268 כשלונות, כלומר בין 36% – 31% הצלחה בחיוזי וסת. מכיוון שחודשים מלאים וחסרים מגיעים לרוב לסירוגין, הערכה גסה עבור הצלחת חיוזי עונות החודש היא שכמחצית המקרים היו בחודשים מלאים וכמחצית המקרים בחודשים חסרים, נקבל כך הערכה של כ-34% הצלחה בחיוזי יום הווסת.

בזמני וסת לא קבוע היו 1,134 מחזורי וסת, מתוכם 118 היו דיווחים ראשוניים על מחזור וסת, ולכן לא חושב עבורם חיוזי. מתוך 1,016 חיוזיים עבור וסת לא קבוע, 109 הצליחו לדייק בזכות עונת ההפלגה, 16 בזכות חפיפה של עונת ההפלגה והעונה הבינונית, 101 בזכות העונה הבינונית (כשאינן חפיפה עם עונת ההפלגה), 118 הגיעו באורך מחזור וסת של 29 ימים (כשאינן חפיפה עם עונת ההפלגה). בסך הכול אחוזי הצלחת חיוזי וסת בין 34% – 22%. גם כאן כשנעשה הערכה שכמחצית חיוזי עונת החודש הגיעו בחודש מלא וכמחצית בחודש חסר, נקבל הערכה של 28% הצלחה.

מתוצאות אלו מתקבלת התמונה שבזמני וסת קבוע החיוזי מוצלח יותר מאשר בזמני וסת שאינו קבוע. כאשר בסך הכול היו בין 496 – 356 חיוזיים מוצלחים, אחוזי הצלחה בין 34.5% – 24.8%, ובהערכה שמחזורי וסת באורך 29 יום התפלגו בצורה אחידה בחודשים חסרים ומלאים נקבל הערכה של 29.7% הצלחה.

למרות שתוצאות אלו מרשימות, כדי לקבל קנה מידה על איכות החיוזי, נשווה את התוצאות ל-3 סוגים של חיוזיים נאיביים:

1. חיוזי עונות פרישה סמוך לווסת (הפלגה, בינונית וחודש) מבלי להחשיב קביעות וסת.
2. חיוזי 3 אורכי מחזורי הווסת השכיחים ביותר: 27, 28, 29.
3. חיוזי 3 אורכי מחזורי וסת כמעט שכיחים ביותר, עם החלפה של 27 ב-30 (עונה הבינונית): 28, 29, 30.

עבור חיוזי עונות פרישה סמוך לווסת (הפלגה, בינונית וחודש), מבלי להחשיב קביעות וסת, מתוך 1,436 חיוזי הווסת נקבל חיוזיים מוצלחים ב-198 מקרים בעלי הפלגה זהה, 162 בעונה הבינונית ו-208

⁵⁰ בנספחים מופיעה טבלה המפרטת את שכיחויות כל סוגי חיוזי הווסת המוצלחים, עבור הצלבות סוגי קביעות הווסת השונים.

באורך מחזור וסת של 29 ימים. להפלגות היו חפיפות עם העונה הבינונית ומחזור וסת באורך של 29 יום : 23 פעמים ההפלגה חזתה נכונה ביחד עם העונה הבינונית, ו-39 פעמים באורך מחזור וסת של 29 יום. בסך הכולל בין 506 – 337 חיזויים מוצלחים, אחוזי הצלחה בין 35.2% – 23.5%, ובהערכה שמחזורי וסת באורך 29 יום התפלגו בצורה אחידה בחודשים חסרים ומלאים נקבל הערכה של 29.35% הצלחה. תוצאה זו קרובה לתוצאה שהתקבלה ממערכת החיזויים עם קביעות וסת, כאשר היתרון הקטן נמצא בחיזויים שלוקחים בחשבון קביעות וסת.

עבור חיזוי עונות פרישה סמוך לווסת נאיביים, לפי 3 אורכי מחזורי הווסת השכיחים ביותר שהם 27, 28, 29, מתוך 1,436 חיזויי הווסת, נקבל חיזויים מוצלחים ב-168, 184, 208 מקרים בהתאמה. בסך הכולל 560 חיזויים מוצלחים שנותנים כ-39% הצלחה בחיזוי וסת.

עבור חיזוי עונות פרישה סמוך לווסת לפי 2 אורכי מחזורי הווסת השכיחים ביותר שהם 28, 29, בתוספת העונה הבינונית (ששכיחה מעט פחות מ-27 יום), מתוך 1,436 חיזויי הווסת, נקבל חיזויים מוצלחים ב-184, 208, 162 מקרים בהתאמה. בסך הכולל 554 חיזויים מוצלחים שנותנים כ-38.6% הצלחה בחיזוי וסת.

מהשוואות אלו נדמה שבתמונה הרחבה, שימת לב לקביעות וסת היא מיותרת. אולם יש פרט נוסף שצריך לתת עליו את הדעת, פרט זה הוא מהו היחס בין חיזויים מוצלחים, לבין ימי פרישה סמוך לווסת שבהם נדרשו בני זוג להימנע מיחסים אינטימיים. לשם מציאת יחסים אלו, חולקו נתוני כל סוגי חיזויי הווסת על פי ייחוס זמן הגעת הווסת ליום החיזוי : יום חיזוי שקדם ליום וסת בפועל, נמנה כפרישה סמוך לווסת, יום חיזוי זהה ליום הווסת נמנה כחיזוי מדויק, ולבסוף, יום חיזוי שיום הווסת קדם לו, לא נמנה עבור חישוב היחס בין מספר פרישות שלא תאמו את הגעת הווסת, לבין מספר החיזויים מדויקים.

בטבלה הבאה מופיעים מספר מחזורי הווסת שהגיעו במצבי קביעות הווסת השונים :

הפלגה	דילוג	שבוע	שבוע בדילוג	דילוג בתוך דילוג	סכום
114	178	75	57	74	498

קיימות חפיפות בין חיזויי הווסתות השונים, לא רק בהתייחסות לזמנים שבהם יותר מווסת קבוע אחד פעיל, אלא גם בימי חיזוי זהים עבור יותר מסוג וסת אחד. מסיבה זו נדרש להימנע מספירה כפולה של חיזויים זהים, בעת התאמת חיזויים למצבים ההלכתיים המתאימים.

בטבלה הבאה מוצגות הספירות עבור כל קריטריון של תזמון הווסת ביחס ליום הפרישה, בהתייחס לזמני פעילות וסתות קבועים. בעמודה הימנית של וסת ההפלגה לא הוסרו כפילויות, ועבור כל התקדמות עמודה שמאלה לווסת קבוע מסוג שונה, החישוב כולל את הסרת הכפילויות שקיימות עם סוגי הווסתות של העמודות שקדמו (מצד ימין) לווסת העמודה הנוכחית. בסך הכולל 15 כפילויות כאלה הוסרו. עבור חיזויים בעונת ההפלגה, לאחר סטייה מווסת קבוע, הוסרו כפילויות בצורה דומה, ביחס לכל סוגי קביעות הווסת. עבור חיזויים של העונה הבינונית ומחזור וסת באורך 29 ימים, בנוסף להסרת כפילויות בדומה לעונת ההפלגה, הוסרו גם כפילויות שמשותפות לעונת ההפלגה עצמה. בעמודות השמאליות שנותנות את התמונה הכוללת, יש פיצול שמתאים את החישוב להכללת ואי הכללת החיזויים עבור אורך מחזור וסת של 29 יום.

סוג וסת לחיזוי	הפלגה	דילוג שבוע	שבוע בדילוג	דילוג בתוך דילוג	אחרי סטייה: הפלגה	אחרי סטייה: בינונית	אחרי סטייה: 29 יום	סכום בלי 29 יום	סכום עם 29 יום
פרישה לפני הגעת וסת	37	82	34	21	32	88	53	76	423
חיזוי מדויק	35	26	8	8	6	31	16	22	130
הווסת הקדים את הפרישה	42	69	26	23	34	94	104	72	392
סכום	114	177	68	52	72	213	173	170	869

בעמודות הימניות של הטבלה הבאה נמצא סיכום של הטבלה הקודמת, ובנוסף את חלוקת החיזויים שהיו במצבי וסת לא קבוע ואת סיכום הנתונים.

סוג חיזוי	קבוע: 29 בלי	קבוע: עם 29	לא קבוע: הפלגה	לא קבוע: בינונית	לא קבוע: 29	סכום בלי 29 יום	סכום עם 29 יום
פרישה לפני הגעת וסת	347	423	437	371	479	1155	1710
חיזוי מדויק	130	152	125	101	118	356	496
הווסת הקדים את הפרישה	392	464	454	439	291	1285	1648
סכום	869	1039	1016	911	888	2796	3854

מנתוני החיזויים עבור זמני וסת קבוע, זמני סטיות מווסת קבוע וזמני וסת לא קבוע, נקבל שהיחס בין חיזויים מוצלחים לכלל עונות הפרישה סמוך לווסת שבהן בני הזוג נדרשו בפועל להימנע מיחסים אינטימיים, הוא בין $\frac{356}{356+1,155} = 23.56\%$ לבין $\frac{496}{496+1,710} = 22.48\%$. אם ניקח בחשבון מחצית מהפרישות הסמוכות לווסתות ומחצית מהחיזויים המדויקים מסוג אורך מחזור וסת של 29 יום (בגלל חלוקת חודשים מלאים וחסרים), נקבל יחס של $\frac{0.5 \cdot (356+496)}{0.5 \cdot (356+496) + 0.5 \cdot (1,155+1,710)} = \frac{284}{1,239} \approx 22.9\%$. זהו יחס של כ-3.36 פרישות "מיותרות" על כל חיזוי מדויק.

בטבלה הבאה מוצגים נתונים תואמים (ללא חפיפות) עבור גישת חיזוי שלא מתייחסת לסוגי קביעות וסת כלל, אלא רק ל-3 עונות הפרישה סמוך לווסת: הפלגה, חודש ובינונית.

עונת פרישה סמוך לווסת	הפלגה	29	בינונית	סכום בלי 29	סכום עם 29
פרישה לפני הגעת וסת	611	629	482	1093	1722
חיזוי מדויק	198	169	139	337	506
הווסת הקדים את הפרישה	627	435	654	1281	1716
סכום	1436	1233	1275	2711	3944

מנתוני החיזויים של גישת חיזוי ללא קביעות וסת, נקבל שהיחס בין חיזויים מוצלחים לכלל עונות הפרישה סמוך לווסת שבהן בני הזוג נדרשו בפועל להימנע מיחסים אינטימיים, הוא בין $\frac{337}{337+1,093} = 23.57\%$ לבין $\frac{506}{506+1,722} = 22.71\%$. אם ניקח בחשבון מחצית מהפרישות הסמוכות לווסתות ומחצית מהחיזויים המדויקים מסוג אורך מחזור וסת של 29 יום (בגלל חלוקת חודשים מלאים וחסרים), נקבל יחס של $\frac{843}{3,658} \approx 23.05\%$. זהו יחס של כ-3.34 פרישות "מיותרות" על כל חיזוי מדויק.

עבור גישות חיזויים נאיביים שלוקחות בתור חיזויים את 3 אורכי מחזורי הווסת השכיחים ביותר, או את 2 אורכי מחזורי הווסת השכיחים ביותר ביחד עם העונה הבינונית, נקבל את 2 הטבלאות הבאות:

אורך מחזור וסת לפרישה	28	29	30	סכום
פרישה לפני הגעת וסת	917	709	547	2173
חיזוי מדויק	184	208	162	554
הווסת הקדים את הפרישה	335	519	727	1581
סכום	1436	1436	1436	4308

אורך מחזור וסת לפרישה	27	28	29	סכום
פרישה לפני הגעת וסת	1101	917	709	2727
חיזוי מדויק	168	184	208	560
הווסת הקדים את הפרישה	167	335	519	1021
סכום	1436	1436	1436	4308

בהתאמה לפי סדר הופעת הטבלאות, היחסים בין חיזויים מוצלחים לכלל עונות הפרישה סמוך לווסת שבהן בני הזוג נדרשו בפועל להימנע מיחסים אינטימיים הם:

$$\frac{554}{554 + 2,173} = 20.32\%, \quad \frac{560}{560 + 2,727} = 17.04\%$$

בהתאמה לכל שיטת חיזוי, היחסים של מספרי עונות הפרישה סמוך לווסת ה"מיותרות" לכל חיזוי מדויק הם:

3.92, 4.87

התוצאות עבור 4 אפשרויות החיזויים, כאשר עבור 2 האפשרויות הראשונות מתבצעת חלוקה של מחצית הפרישות הסמוכות לווסתות ומחצית החיזויים המוצלחים של אורך מחזור וסת של 29 יום, מסוכמות בטבלה הבאה:

גישת חיזוי	חיזויים מוצלחים	אחוזי הצלחה בחיזוי וסת	מספר פרישות סמוך לווסת שקדמו לווסת	יחס פרישות "מיותרות" על דיוקים
קביעות וסת	426	29.67%	1432.5	3.363
3 עונות פרישה סמוך לווסת בלבד	421.5	29.35%	1407.5	3.339
אורכי מחזורי וסת 28,29,30	554	38.58%	2173	3.922
אורכי מחזורי וסת 27,28,29	560	39.00%	2727	4.87

מהטבלה הזו מתקבלת בבירור התמונה שלמרות שאחוזי הצלחות חיזוי הווסתות של שתי האפשרויות הראשונות נמוכים מה-2 האחרונות, היחסים בין הפרישות הסמוכות לווסתות שלא דייקו ביום הווסת לבין החיזויים המדויקים הינו נמוך, ולכן טוב יותר בצורה משמעותית.

מבחינה הלכתית מובן מדוע ההלכה מעדיפה את האפשרויות הראשונות, שהרי יש עדיפות גדולה למנוע כמה שיותר פרישות סמוך לווסת. בנוסף לסיבה זו יש עוד 2 סיבות ראויות לציון:

1. הדינמיות שנוצרת מהתאמה של החיזוי לכל סיטואציה שונה מוסיף להתאמה האישית לכל אישה.
2. הלכות קביעות וסת כוללות גם סוגי קביעות וסת גוף ותאריכים שלא יכלו לקבל התייחסות במחקר זה.

מ-3 סיבות אלו מובן מדוע חז"ל בחרו את המערכת ההלכתית של הלכות וסתות עבור חיזוי וסת, ולהערכת, המערכת הזו חוזה באופן מרשים ביחס למצופה את ימי הווסתות, במקביל לצמצום ימי הפרישה סמוך לווסת.

למרות מסקנות אלו, בעקבות התוצאות, רציתי לבחון בצורה דומה אפשרות חיזוי חמישית: התחשבות רק בווסת ההפלגה כווסת קבוע. הסיבה לכך היא ההנחה הרווחת שנשים אינן מודעות לסוגי הקביעות השונים מלבד קביעות וסת ההפלגה.

עבור צורת חיזוי שלוקחת בחשבון קביעות וסת הפלגה, את הסטיות מהווסת (שאינן חופפות לחיזוי הווסת) ואת עונות הפרישה סמוך לווסת במצב של וסת לא קבוע, נקבל את הטבלה הבאה :

סוג פרישה	הפלגה בווסת קבוע	הפלגה בסטייה מהקביעות	29 בסטייה מהקביעות	בינונית בסטייה מהקביעות	הפלגה בווסת לא קבוע	בווסת לא קבוע 29	בינונית בווסת לא קבוע	סכום בלי 29	סכום עם 29
פרישה לפני הגעת וסת	37	26	18	10	570	594	460	1103	1715
חיזוי מדויק	35	9	6	5	168	153	128	345	504
הווסת הקדים את הפרישה	42	23	17	29	584	392	587	1265	1674

היחסים בין חיזויים מוצלחים לכלל עונות הפרישה סמוך לווסת, שבהן בני הזוג נדרשו בפועל להימנע מיחסים אינטימיים הם :

$$\frac{345}{345 + 1,103} = 23.83\%, \quad \frac{504}{504 + 1,715} = 22.71\%$$

כשחוצים את כמות הפרישות והדיוקים עבור אורך מחזור וסת של 29 יום נקבל את היחס

$$\frac{0.5 \cdot (345 + 504)}{0.5 \cdot (345 + 504) + 0.5 \cdot (1,103 + 1,715)} = \frac{849}{3,667} \approx 23.15\%$$

כלומר יחס של 3.319 פרישות שקדמו לווסת על כל פרישה ביום הווסת, זהו היחס הטוב ביותר מבין כל אפשרויות החיזוי. עם הוספת תוצאות אלו לטבלת התוצאות לעיל, נקבל :

גישת חיזוי	חיזויים מוצלחים	אחוזי הצלחה בחיזוי וסת	מספר פרישות סמוך לווסת שקדמו להגעת הווסת	יחס פרישות "מיותרות" על דיוקים
קביעות וסת	426	29.67%	1432.5	3.363
3 עונות פרישה סמוך לווסת בלבד	421.5	29.35%	1407.5	3.339
אורכי מחזורי וסת 28,29,30	554	38.58%	2173	3.922
אורכי מחזורי וסת 27,28,29	560	39.00%	2727	4.870
וסת הפלגה ו-3 עונות פרישה	424.5	29.56%	1409	3.319

קיים הבדל מהותי בין החיזוי שמופיע בהלכות וסתות לבין החיזויים מהמחקר המדעי: בחיזוי ההלכתי נשאלת השאלה "האם הווסת הגיע בתאריך הצפוי" ומתוך כך נגזרו ההלכות שמנסות, מחד, "לפגוע במטרה" כמה שיותר, ומאידך, למעט בזמנים שבהם לזוג נשוי יהיה צורך להימנע מיחסים אינטימיים. בחיזויים המקובלים במחקר נשאלות השאלות "כמה קרובים הווסתות ביחס לצפי", ועל כן מנסים ליצור מודל שלא בהכרח יצליח "לפגוע במטרה" במספר הגדול ביותר של פעמים, אלא בקירוב הטוב ביותר.

הבדל זה מוביל למדידה שונה של איכות החיזוי, בעזרת שימוש במדדי פיזור. בורטוט ואחרים (Bortot et al, 2010) מדדו את איכות החיזוי בעזרת מדד MSE (אומדן השונות) וקיבלו עבור החיזוי הטוב ביותר $MSE = 15.5$. פוקאיה ואחרים (Fukaya et al, 2006) השתמשו במדד $RMSE$ (אומדן סטיית התקן) לבחינת דמיון החיזוי המתמטי לחיזוי שנעזר במדידות חוזרות.

שוני מהותי זה מוביל להבדל נוסף: החיזויים המתמטיים נותנים צפי בודד ליום הווסת, לעומת הלכות וסתות, שמלבד במצבים שמגיעים מיד לאחר קביעת וסת, כמעט בכל המצבים ההלכתיים ישנם מספר חיזויים במקביל: עבור וסת שאינו קבוע – עונות הפרישה סמוך לווסת בעונת ההפלה, החודש והעונה הבינונית, ועבור וסתות קבועים עם סטייה מהקביעות – עונות הווסתות הקבועים, ו-3 עונות הפרישה סמוך לווסת שנזכרו לעיל.⁵¹

כדי לתת השוואה מפורטת, נתבונן במדדי MSE , $RMSE$ עבור החיזויים של כל סוג מצב קביעות וסת בפני עצמו, בנוסף לכך כדי לקבל את מידת המרחק של החיזויים מהווסת בפועל, במצבים בהם היו מספר סוגי חיזויים הלכתיים שונים, נחשיב את השגיאה הקטנה ביותר לחישוב המדדים של החיזוי הסופי. מכיוון שלא התקבלו תאריכים לדיווחי הווסתות, לא ניתן היה להבדיל בין חודשים מלאים לחסרים, לכן פוצלו אפשרויות החיזוי במצבים שבהם היה צריך לחשוש ליום החודש ל-2: עם חשש למחזור וסת באורך של 29 יום או בלי חשש כזה. בטבלה הבאה מוצגים המדדים עבור חיזויים לפי חלוקה לסוג קביעות וסת:

סוג וסת	הפלגה	דילוג	שבוע	שבוע בדילוג	דילוג בתוך דילוג	סטייה מווסת – קבוע – כולל 29	וסת לא – קבוע – כולל 29	סטייה מווסת – קבוע – כולל 29	וסת לא – קבוע – כולל 29
MSE	3.99	10.3	34.93	36.98	42.72	4.87	7.75	5.69	8.5
RMSE	2.00	3.21	5.91	6.08	6.54	2.21	2.78	2.38	2.92

בטבלה זו בולטים מספר נתונים: החיזוי של וסת ההפלה מספק את הקירוב הטוב ביותר בפער גדול, אחריו החיזוי של עונות הפרישה של יום ההפלה, העונה הבינונית ויום החודש כאשר יש סטייה מווסת קבוע, אחריהם פרישה בווסת לא קבוע – העונה הבינונית, יום ההפלה ויום החודש. מדדי החיזוי של וסת

⁵¹ לגבי מצב של וסת קבוע וסטייה מווסת קבוע, קיימות מחלוקות בעניין הפרישה בעונה הבינונית. בעבודה זו נבחר להתייחס לדעות שמצריכות פרישה בעונה הבינונית במצבים האלו. לדוגמה עבור וסת ההפלה, כאשר יש סטייה מהווסת הקבוע, אם אורך מחזור הווסת הקבוע קטן מ-30 יש צורך לחשוש לעונה הבינונית, ואם אורך מחזור הווסת הקבוע גדול מ-30 יום, מקובל לפסוק שאין צורך לחשוש לעונה הבינונית. במאגר הנתונים היו רק 3 מקרים בהם היה וסת הפלה קבוע באורך מחזור וסת גדול מ-30, שאחרי סטייה ממנו הווסת הבא הגיע בעונה הבינונית.

הדילוג דומים למדדי החיזויים של עונות הפרישה של וסת לא קבוע. המרחקים מהווסת בפועל של החיזויים של וסת השבוע, השבוע בדילוג ושל דילוג בתוך דילוג מפורזים מאוד, ונדמה שהחיזויים שלהם אינם יעילים. המדדים עבור החיזוי הכולל, שלוקח בחשבון את השגיאה הקטנה ביותר מהווסת בפועל, עם החשבת היום ה-29 עבור עונת החודש, הם :

$$MSE = 7.69, \quad RMSE = 2.77$$

והמדדים כשלא מתחשבים ביום החודש הם :

$$MSE = 8.31, \quad RMSE = 2.88$$

כלומר המדדים המדויקים היו מתקבלים בפועל בטווחים הבאים

$$7.69 \leq MSE \leq 8.31, \quad 2.77 \leq RMSE \leq 2.88$$

אלו תוצאות מרשימות ביותר, במיוחד עבור חיזוי שהומצא לפני זמן כה רב.

סיכום ומסקנות

בפרק זה הוצגו הדיווחים של 20 הנשים שהיה להן שינוי וסת מקביעות מסוג אחד לקביעות מסוג שונה, לפני שהספיקה הקביעות הראשונה להיפסק. הוצגו הנתונים שמתארים את הלכות וסתות בתור חיזוי, הן בבחינת מספר הפעמים שימי הפרישה סמוך לווסת תאמו את יום הגעת הווסת, והן בבחינת היחס בין ימי הפרישה סמוך לווסת שקדמו לווסת, לבין ימי הפרישה סמוך לווסת שתאמו את הגעת הווסת. נתונים דומים הוצגו עבור אפשרויות חיזוי נאיביות, שהצליחו לחזות יותר וסתות, אולם הציגו חיסרון של ימי פרישה מרובים יותר.

תוצאה מעניינת במיוחד היא שחוסר מודעות לקביעות וסת, מלבד מודעות לווסת ההפלגה, מובילה ליחס הטוב והנמוך ביותר בין ימי פרישה סמוך לווסת שקדמו לווסת לבין ימי פרישה סמוך לווסת שתאמו את הגעת הווסת.

גם ביחס לחיזוי שמשמש באמצעים מתמטיים מתקדמים, בעל מדד $MSE = 15.5$, החיזויים של הלכות וסתות מציגים נתון מרשים של $7.69 \leq MSE \leq 8.31$. אמנם יש לציין את ההבדל המהותי בין החיזויים : החיזוי המדעי משתמש ביום אחד בלבד לחיזוי, לעומת החיזוי ההלכתי שמשמש במספר ימים במקביל (מלבד במצבי וסת קבוע ללא סטייה).

מתוצאות פרק זה נראה שהחיזוי שנמצא בהלכות וסתות מקבל חיזוק מנתוני זמנינו, ומרשים להבחין בכך שחכמי היהדות הצליחו לפתח אסטרטגיית חיזוי שיעילה למדי עד לימינו.

פרק ה' – האם יש תלות בין קביעת סוגי וסת קבוע?

התפלגות קביעות סוגי וסת לפי נשים

לאחר ניתוח הנתונים הבסיסי, עלתה תמונת השכיחויות של סוגי קביעות הווסת הבאה:

סוג וסת	שכיחות נשים שקבעו וסת	שכיחות יחסית לכלל הנשים
הפלגה	20	17%
דילוג ⁵²	48	41%
שבוע	26	22%
שבוע בדילוג	18	15%
דילוג בתוך דילוג	23	19%
דילוג חוזר חלילה	0	0%

סכום השכיחויות היחסיות עולה על 100%, מכיוון שהיו נשים שקבעו מספר סוגי קביעות וסת שונים. למעשה, מתוך 118 הנשים במאגר, 83 קבעו לפחות וסת מסוג אחד. בנספחים מופיעה טבלה מלאה, שמפרטת עבור כל אישה מהם סוגי קביעות הווסת שהיא קבעה. בטבלה זו הספרה 1 מסמלת את קביעת סוג הווסת והספרה 0 מסמלת אי קביעת סוג וסת. בנוסף מופיעה בנספחים גם טבלה של סוגי קביעות וסת וסיווג של הנשים שקבעו את סוג הווסת (לפי מספרי זיהוי).

לפני מעבר למבחני תלות בין סוגי קביעות הווסת, ברצוני להביא טבלה עם הממוצעים של ערכי סטיות התקן של כל הנשים שקבעו סוגי וסת. לטבלה דומה נתייחס בהמשך, בשלב ניתוח השונות בין קבוצות הנשים לפי סוג קביעת וסת, אולם טבלה זו תעזור להבין את ניתוח תוצאות מבחני התלות.

סוג קביעת וסת	הפלגה	דילוג	שבוע	שבוע בדילוג	דילוג בתוך דילוג	ללא קביעת וסת
ממוצעי סטיות תקן לפי נשים	1.48	1.92	2.07	2.19	2.03	3

⁵² נעשה איחוד בין דילוג רגיל ודילוג למפרע. דילוג רגיל נקבע אצל 23 נשים, דילוג למפרע נקבע אצל 30.

מבחני תלות בין סוגי קביעות וסת

על מנת לבחון האם קביעת וסת מסוג אחד תלויה בקביעת וסת מסוג שני, נוצרו טבלאות התפלגויות משותפות עבור כל זוגות סוגי קביעות וסת אפשריים⁵³. מכיוון שנקבעו 5 סוגי וסתות, היה צורך ביצירת $C_5^2 = \binom{5}{2} = 10$ טבלאות של התפלגויות משותפות. 10 מבחני תלות בין זוגות סוגי קביעות וסת הוצגו בפירוט בנספחים, להלן טבלה עם סיכום תוצאות המבחנים:

סוגי קביעות וסתות נבחנים		χ^2	$p - value$	תוצאה	מובהקות התוצאה	קביעות 2 הווסתות
הפלגה	דילוג	0.66	0.416	אין תלות	מובהקת	דומה למצופה
הפלגה	שבוע	0.02	0.88	אין תלות	מובהקת מאוד	דומה למצופה
הפלגה	שבוע בדילוג	2.75	0.097	אין תלות	לא מובהקת	גבוהה מהמצופה
הפלגה	דילוג בתוך דילוג	3.932	0.047	יש תלות	לא מובהקת	גבוהה מהמצופה
דילוג	שבוע	0.247	0.62	אין תלות	מובהקת	דומה למצופה
דילוג	שבוע בדילוג	8.52	0.0035	יש תלות	מובהקת מאוד	נמוכה מהמצופה
דילוג	דילוג בתוך דילוג	2.69	0.101	אין תלות	לא מובהקת	נמוכה מהמצופה
שבוע	שבוע בדילוג	0.1345	0.714	אין תלות	מובהקת מאוד	דומה למצופה
שבוע	דילוג בתוך דילוג	0.012	0.914	אין תלות	מובהקת מאוד	כמעט זהה למצופה
שבוע בדילוג	דילוג בתוך דילוג	0.00005	0.9943	אין תלות	מובהקת מאוד	כמעט זהה למצופה

התוצאה שבלטה עבורי במיוחד היא אי התלות המובהקת מאוד בין קביעת וסת ההפלגה לקביעת וסת השבוע. קביעת וסת הפלגה באורך של 29 ימים (בספירת "עד ועד בכלל") כוללת בתוכה קביעת וסת שבוע, ומכיוון שזו קביעת וסת ההפלגה השכיחה ביותר במאגר הנתונים⁵⁴, נדמה שקביעת וסת ההפלגה תציג תלות בקביעת וסת השבוע. למרות זאת ממבחן התלות מקבלים בצורה מובהקת שאין תלות בין סוגי קביעות הווסת.

⁵³ מבין הסוגים שניתן להתייחס אליהם, בהתאם לנתונים שקיימים במאגר.
⁵⁴ שכיחות קביעות וסת הפלגה עם אורך מחזור וסת קבוע של 29 ימים במאגר היא 6.

לעומת זאת, בהצלבת קביעת וסת ההפלגה עם קביעת וסת השבוע בדילוג, שגם הוא חופף לקביעת וסת הפלגה עם אורך מחזור וסת קבוע של 30 יום, מתקבל שקביעת 2 סוגי הווסת שכיחה יותר מהמצופה. אבל גם במבחן זה המסקנה היא שאין תלות, על אף שהמסקנה פחות מובהקת ($p = 0.097 > 0.05$).

תוצאה מפתיעה נוספת לגבי קביעת וסת ההפלגה היא התלות בין קביעת וסת הפלגה לקביעת וסת דילוג בתוך דילוג, שמובילה לשכיחות גבוהה מהמצופה של נשים שקובעות את 2 סוגי הווסתות. הגורם שמפתיע במקרה זה הוא סוג קביעות הווסת: בווסת ההפלגה הקביעות מגיעה כאשר 3 מחזורי וסת עוקבים באורכים זהים, ומצופה שהתופעה תתרחש אצל נשים שמחזור הווסת שלהן שומר על פיזור נמוך⁵⁵, אולם וסת דילוג בתוך דילוג מצופה להגיע עם סטיית תקן גדולה יותר משמעותית, מכיוון שיש קפיצות בין אורכי מחזורי הווסת של אישה שקובעת וסת דילוג בתוך דילוג.

בהסתכלות ראשונית, ממוצע סטיות התקן של נשים שקובעות וסת דילוג בתוך דילוג דומים לממוצעי סטיות התקן של נשים שקובעות וסתות מסוג שבוע, דילוג ושבוע בדילוג⁵⁶. אולם כשמחלקים את קבוצת הנשים שקבעו וסת דילוג בתוך דילוג לפי קביעת וסת הפלגה מקבלים תמונה שונה:

נשים שקבעו דילוג בתוך דילוג	קבעו הפלגה	לא קבעו הפלגה
ממוצע סטיות תקן	1.51	2.36

בוצע מבחן נורמליות⁵⁷ *Kolmogorov – Smirnov* על נתוני סטיות התקן של קבוצות הנשים שקבעו וסת דילוג בתוך דילוג לפי החלוקה הזו. שתי תתי הקבוצות עברו את מבחן הנורמליות: עבור נשים שקבעו את וסת ההפלגה התקבלו התוצאות $d_9 = 0.1649$, $p > 0.1$ ועבור הנשים שלא קבעו את וסת ההפלגה התקבלו התוצאות $d_{14} = 0.1488$, $p > 0.1$.

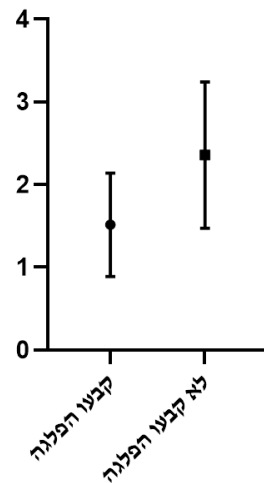
לאחר מכן בוצע מבחן $t - test$ עם תיקון של *Welch* תחת הנחת הבדל בין סטיות התקן של הנתונים, והתקבלו התוצאות $t_{20.72} = 2.68$, $p = 0.0141$, כלומר קיים הבדל מובהק מאוד מבחינה סטטיסטית בין הנתונים. להלן גרף שמציג את ממוצעי הנתונים עם הטווח שנוצר כולל סטיות התקן שלהם:

⁵⁵ כפי שהוצג, אכן ממוצע סטיות התקן של אורכי מחזורי הווסת של נשים שקבעו וסת הפלגה הוא הנמוך מבין כל הקבוצות.

⁵⁶ בהמשך יופיע מבחן שונות סטטיסטי על נתוני סטיות התקן של הקבוצות השונות.

⁵⁷ המבחנים הסטטיסטיים בוצעו בתוכנת prism. טבלאות של סטיות התקן של הנשים (שחושבו בעזרת טבלת pivot ב-Excel) מופיעות בנספחים.

דילוג בתוך דילוג - סטיות תקן לפי הפלגה



למסקנה, רואים שאכן קיים הבדל בין נשים שקובעות וסת דילוג בתוך דילוג וגם קובעות וסת הפלגה לבין נשים שקובעות וסת דילוג בתוך דילוג אך אינן קובעות וסת הפלגה.

ממבחי התלות בין סוגי קביעות הווסת מתקבל שהתלות היחידה שיצאה מובהקת מאוד, היא בין נשים שקובעות וסת דילוג לנשים שקובעות וסת שבוע בדילוג. תלות זו מובילה לכך שלאישה שקבעה את אחד מסוגי הווסתות, יש סיכוי נמוך יותר לקבוע את סוג הווסת השני. הסבר אפשרי לתופעה זו, הוא שהתלות נובעת מכך שהקביעות של וסת הדילוג נקבעת על פי אורכי מחזורי וסת, לעומת קביעות של וסת השבוע בדילוג, שקשורה לימי השבוע. אולם לפי טיעון זה, תופעה דומה הייתה אמורה להתקיים גם עבור וסת הדילוג מול וסת השבוע. לכן נדמה שטיעון זה אינו תואם.

בהסתכלות חוזרת על שאר מבחני התלות של וסת השבוע ביחס לסוגי קביעות וסת אחרים, נראה שאי התלות בין קביעת וסת הדילוג לבין קביעת וסת השבוע היא בעלת רמת המובהקות הנמוכה ביותר, כפי שניתן לראות בחלק הטבלה הבא:

סוגי קביעות וסתות נבחים	χ^2	$p - value$	תוצאה	מובהקות התוצאה	קביעות 2 הווסתות
הפלגה	0.02	0.88	אין תלות	מובהקת מאוד	דומה למצופה
דילוג	0.247	0.62	אין תלות	מובהקת	דומה למצופה
שבוע	0.1345	0.714	אין תלות	מובהקת מאוד	דומה למצופה
שבוע	0.012	0.914	אין תלות	מובהקת מאוד	כמעט זהה למצופה

הסבר זה אינו "הופך את הקערה על פיה" וקובע שיש תלות בין וסת דילוג לווסת השבוע, אולם הוא מעט מחזק את ההסבר שמבדיל בין סוגי קביעות הווסת לפי אורכי מחזורי וסת מול ימי שבוע.

תוצאה מעניינת נוספת היא שרק השוואה בודדת שלא כוללת את וסת השבוע, יצאה בעלת אי תלות ברמת מובהקות גבוהה יותר מאשר ההשוואות שבהן וסת השבוע נבחן : ההשוואה בין וסת שבוע בדילוג לבין וסת דילוג בתוך דילוג.

סיכום ומסקנות

בפרק זה הוצגו מבחנים סטטיסטיים לבדיקת תלות בין חלוקת נשים לפי סוגי קביעות וסת, ומבחני שונות בין סטיות תקן עבור נשים שקבעו וסת דילוג בתוך דילוג. ממבחני התלות מתקבלת התמונה שקיימת תלות בין קביעת וסת הפלגה וקביעת וסת דילוג בתוך דילוג, שמובילה לכך ש-2 סוגי הווסתות ייקבעו אצל אותה אישה בשכיחות גבוהה מהמצופה. כמו כן מתקבל שקיימת תלות בין קביעת וסת דילוג לקביעת וסת שבוע בדילוג, שמובילה לכך ש-2 סוגי הווסתות ייקבעו אצל אותה אישה בשכיחות נמוכה מהמצופה.

מלבד האבחנה בתלות שקיימת בין סוגי קביעות הווסת האלו, מתקבלת התמונה שאין תלות בין שאר סוגי קביעות וסת, כאשר ברוב ההשוואות אי התלות מובהקת מאוד.

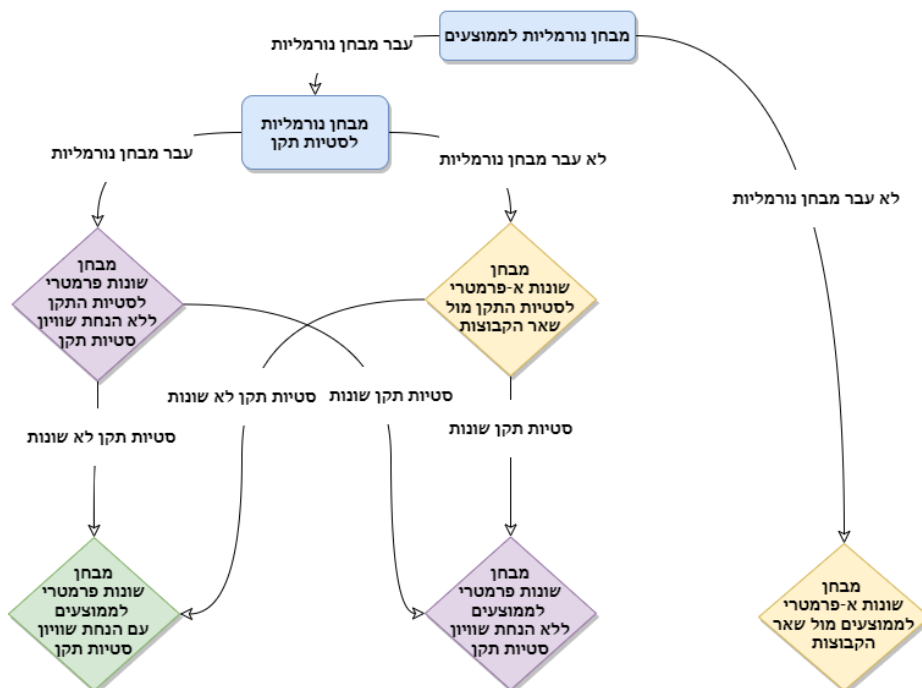
פרק ו' – האם יש שונות בין מחזורי הווסת של סוגי קביעות השונים?

מבחני שונות בין נשים לפי סוגי קביעות וסת ואי קביעת וסת

מלבד בדיקות תלות בין סוגי קביעות הווסת השונים, רצייתי לבחון האם יש שוני מובהק בין התפלגות אורכי מחזורי הווסת של נשים לפי סוגי קביעות וסת. לשם כך, עבור כל סוג קביעת וסת נכללו הנשים שקבעו אותו, בעזרת טבלת ציר בתוכנת Excel חושבו הממוצעים⁵⁸ וסטיות התקן של אורכי מחזורי הווסת של כל הנשים, בצורה כזו שהנתונים מפולגים לפי קבוצות קביעות הווסת השונות. התוצאות המלאות בנספחים, ממוצעי התוצאות בטבלה הבאה:

סוג קביעת וסת	הפלגה	דילוג	שבוע	שבוע בדילוג	דילוג בתוך דילוג	ללא קביעת וסת
ממוצעי ממוצעים	29.244	29.563	29.954	29.822	29.965	31.615
ממוצעי סטיות תקן לפי נשים	1.48	1.92	2.07	2.19	2.03	3

כדי לבדוק האם התוצאות השונות מעידות על הבדלים מובהקים, בוצעו מבחני שונות בין סטיות התקן וממוצעי אורכי מחזורי הווסת של הנשים לפי חלוקה על בסיס סוגי קביעות וסת. המטרה העיקרית של מבחנים סטטיסטיים אלו, היא לבחון האם קיימות שונות מובהקות בין ממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים, לפי ההשתייכות שלהן לקטגוריות השונות. סדר הפעולות של הבחינה הסטטיסטית מופיע בתרשים הזרימה הבא, לאחריו מופיע פירוט מילולי:



⁵⁸ ללא הוספת 1 של ספירת "עד ועד בכלל".

1. בדיקת דמיון בין התפלגות נורמלית מצטברת לבין התפלגויות מצטברות של ממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים לפי קבוצות סוגי קביעות וסת.
 2. במידה ויהיו ממוצעי סוגי קביעות וסת שלא יעברו את מבחן הנורמליות, יבוצע מבחן שונות א-פרמטרי עם השוואות מרובות, בין ממוצעי כל סוגי קביעות וסת מול ממוצעי סוגי קביעות וסת שלא עברו את מבחן הנורמליות.
 3. עבור סוגי קביעות הווסת שממוצעייהם עברו את מבחן הנורמליות, יבוצע מבחן נורמליות על סטיות התקן (שמחושבות ביחס לאורכי מחזורי הווסת של כל אישה לפי סוג וסתה).
 4. יבוצע מבחן שונות א-פרמטרי עם השוואות מרובות, בין סטיות התקן של סוגי הווסתות שממוצעייהם עברו את מבחן הנורמליות, רק מול סטיות התקן של סוגי קביעות וסת, שסטיות התקן שלהם לא עברו את מבחן הנורמליות. עבור סוגי קביעות וסת שסטיות התקן שלהם עברו את מבחן הנורמליות, יבוצע מבחן $ANOVA$ פרמטרי לבדיקת שונות בין סטיות התקן, ללא הנחת שוויון סטיות תקן⁵⁹.
 5. עבור סוגי קביעות וסת שסטיות התקן שלהם שונות בצורה מובהקת, יבוצע על הממוצעים מבחן שונות $ANOVA$ פרמטרי, שלא מניח שוויון סטיות תקן, עם השוואות מרובות, ביחס לכלל סוגי קביעות וסת (שממוצעייהם עברו את מבחן הנורמליות). עבור קבוצות שסטיות התקן שלהן אינן שונות בצורה מובהקת, יבוצע מבחן שונות $ANOVA$ פרמטרי על הממוצעים שמניח שוויון סטיות תקן, עם השוואות מרובות, בין כל סוגי קביעות הווסת שנותרו, בינם לבין עצמם.
- בשלב הראשון בוצע מבחן נורמליות על ממוצעי הנשים שבכל קטגוריה. מבחן הנורמליות שנבחר הוא מבחן $Kolmogorov - Smirnov$ עם $\alpha = 0.05$.

סוג וסת קבוע	מרחק מפונקציית התפלגות מצטברת נורמלית	$p - value$	האם עבר את מבחן הנורמליות?
הפלגה	$d_{20} = 0.1555$	$p > 0.1$	כן
דילוג	$d_{48} = 0.1417$	$p > 0.1$	כן
שבוע	$d_{26} = 0.1244$	$p > 0.1$	כן
שבוע בדילוג	$d_{18} = 0.1212$	$p > 0.1$	כן
דילוג בתוך דילוג	$d_{23} = 0.2048$	$p = 0.013$	לא
ללא קביעות וסת	$d_{35} = 0.0886$	$p = 0.078$	כן

מתוצאות מבחן הנורמליות מתקבל שניתן לשלול התפלגות נורמלית רק עבור הממוצעים של נשים שקבעו וסת דילוג בתוך דילוג. מכיוון שכך, בוצע מבחן שונות א-פרמטרי $Kruskal - Wallis$ עם השוואות

⁵⁹ מבחן שונות זה, בוחן את השונות בין סטיות התקן, שהן מדד לפיזור אורכי מחזורי הווסת של הנשים המסווגות לפי סוגי קביעות וסת (והן שורש של מומנט מסדר 2). ההנחה של אי שוויון סטיות תקן עבור מבחן זה, משמעותה שבוחנים את השונות ללא הנחת שוויון בין סטיות התקן של סטיות התקן (שורש של מומנט מסדר 4).

מרבית רק מול וסת הדילוג בתוך דילוג, עם תיקון (Post-hoc) בעזרת שיטת *Dunn*, על נתוני ממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים בקבוצות השונות. תוצאות מבחן השונות בטבלה הבאה:

מובהקות התוצאה	<i>Adjusted p – value</i>	האם הממוצעים שונים בצורה מובהקת	סוג וסת מול דילוג בתוך דילוג
גבוהה מאוד	$p > 0.999$	לא	הפלגה
גבוהה מאוד	$p > 0.999$	לא	דילוג
גבוהה מאוד	$p > 0.999$	לא	שבוע
גבוהה מאוד	$p > 0.999$	לא	שבוע בדילוג
מובהקת	$p = 0.489$	לא	ללא קביעת וסת

התוצאות של המבחן הן, באופן מובהק מאוד, שאין הבדל בין ממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים שקובעות וסת דילוג בתוך דילוג לבין ממוצעי שאר סוגי קביעות וסת. בנוסף לכך, אין הבדל בין ממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים שקובעות וסת דילוג בתוך דילוג לבין ממוצעי נשים שלא קבעו וסת כלל.

בכדי לקבוע האם ניתן להניח שוויון בין סטיות התקן של סוגי קביעות הווסת (שממוצעיהם עברו את מבחן הנורמליות), בוצעו מבחני נורמליות ושונות על נתוני סטיות התקן. תוצאות מבחני הנורמליות על נתוני סטיות התקן בטבלה הבאה:

סוג וסת קבוע	מרחק מפונקציית התפלגות מצטברת נורמלית	<i>p – value</i>	האם עבר את מבחן הנורמליות?
הפלגה	$d_{20} = 0.1136$	$p > 0.1$	כן
דילוג	$d_{48} = 0.1467$	$p = 0.011$	לא
שבוע	$d_{26} = 0.135$	$p > 0.1$	כן
שבוע בדילוג	$d_{18} = 0.1887$	$p = 0.09$	כן
ללא קביעת וסת	$d_{35} = 0.1158$	$p > 0.1$	כן

מכיוון שרק סטיות התקן של נשים שקבעו וסת דילוג לא עברו את מבחן הנורמליות, בוצע מבחן שונות א-פרמטרי *Kruskal – Wallis* עם השוואות מרובות, עם תיקון (Post-hoc) בעזרת שיטת *Dunn*, על סטיות התקן של הקבוצות שממוצעייהן עברו את מבחן הנורמליות, רק מול סטיות התקן של נשים שקבעו וסת הדילוג. תוצאות השוואות אלו בטבלה הבאה:

סוג וסת מול דילוג	האם סטיות התקן שונות בצורה מובהקת	<i>Adjusted p – value</i>	מובהקות התוצאה
הפלגה	לא	$p = 0.309$	מובהקת
שבוע	לא	$p > 0.999$	גבוהה מאוד
שבוע בדילוג	לא	$p > 0.999$	גבוהה מאוד
ללא קביעת וסת	כן	$p = 0.008$	גבוהה מאוד

מתוצאות מבחן זה ניתן להניח שוני בין סטיות התקן עבור נשים שקבעו וסת דילוג ונשים שלא קבעו וסת, וניתן להניח שוויון סטיות תקן בין נשים שקבעו וסתות דילוג, הפלגה, שבוע ושבוע בדילוג.

נותר להשוות בין סטיות תקן כל הצירופים של הקבוצות שסטיות התקן שלהן התפלגו נורמלית בעזרת מבחן שונות פרמטרי (שמניח שוני בין סטיות התקן של הנתונים). למבחן שונות זה נבחר מבחן *Brown – Forsythe and Welch* עם השוואות מרובות ותיקון בשיטת *Dunnett*. תוצאות המבחן בטבלה הבאה:

סוגי קביעות וסת נבחנים	האם סטיות התקן שונות בצורה מובהקת	<i>Adjusted p – value</i>	מובהקות התוצאה
הפלגה	שבוע	$p = 0.101$	לא מובהקת
הפלגה	שבוע בדילוג	$p = 0.322$	מובהקת
הפלגה	ללא קביעת וסת	$p < 0.0001$	גבוהה מאוד
שבוע	שבוע בדילוג	$p = 0.9997$	גבוהה מאוד
שבוע	ללא קביעת וסת	$p = 0.053$	לא מובהקת
שבוע בדילוג	ללא קביעת וסת	$p = 0.381$	מובהקת

מתוצאות שני המבחנים האחרונים מתקבל שסטיות התקן של נשים ללא קביעת וסת הן היחידות בעלות שונות מובהקת ביחס לסוגי קביעות הווסת השונים. שונות מובהקת זו באה לידי ביטוי בצורה מובהקת מאוד בהשוואה עם וסתות הפלגה, ודילוג. בהשוואה מול וסת שבוע השונות כמעט עברה את מבחן השונות הסטטיסטי ($p = 0.053 > 0.05$) ורק מול וסת השבוע בדילוג התקבל שאין שונות. מלבד זאת אין שוני מובהק בין סטיות התקן של שאר סוגי קביעות וסת.

בהתאם לתוצאות, נבצע בנפרד מבחני השוואה לממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים ללא קביעות וסת מול סוגי קביעות הווסת השונים, תחת הנחת שונות בין סטיות התקן. לאחר מבחנים אלו, נבצע מבחני

שונות לממוצעי אורכי מחזורי הווסת בין נשים לפי סוגי קביעות וסת, תחת הנחת שוויון סטיות תקן (עבור קבוצות הנשים הנותרות).

תוצאות מבחן *Brown – Forsythe and Welch* עם השוואות מרובות ותיקון בשיטת *Dunnett*, בין ממוצעי נשים ללא קביעת וסת מול נשים שקבעו וסת:

מובהקות התוצאה	<i>Adjusted p – value</i>	הממוצעים שונים בצורה מובהקת	סוגי קביעות וסת נבחנים
גבוהה	$p = 0.0182$	כן	ללא קביעת וסת הפלגה
לא מובהקת	$p = 0.1098$	לא	ללא קביעת וסת דילוג
לא מובהקת	$p < 0.067$	לא	ללא קביעת וסת שבוע
גבוהה	$p = 0.0156$	כן	ללא קביעת וסת שבוע בדילוג

תוצאות המבחנים הן שממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים שאינן קובעות וסת, ארוכים בצורה מובהקת מאוד מממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים שקובעות וסת הפלגה, וממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים שקובעות וסת שבוע בדילוג.

בביצוע מבחן *ANOVA* רגיל עם השוואות מרובות ותיקון בשיטת *Tukey*, בין ממוצעי נשים שקובעות וסת מסוגי הפלגה, דילוג, שבוע ושבוע בדילוג, התקבל ערך $p = 0.66$, תוצאות ההשוואות המרובות:

מובהקות התוצאה	<i>Adjusted p – value</i>	האם ממוצעי הנשים שונים בצורה מובהקת	סוגי קביעות וסת נבחנים
מובהקת	$p = 0.642$	לא	הפלגה שבוע
גבוהה מאוד	$p = 0.816$	לא	הפלגה שבוע בדילוג
גבוהה מאוד	$p = 0.934$	לא	הפלגה דילוג
גבוהה מאוד	$p = 0.997$	לא	שבוע שבוע בדילוג
גבוהה מאוד	$p = 0.858$	לא	שבוע דילוג
גבוהה מאוד	$p = 0.967$	לא	שבוע בדילוג

כלומר יש דמיון רב בין ממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים שקובעות וסת.

מבחני שונות למחזורי וסת לפי סוג קביעות וסת

מלבד מבחני שונות לממוצעי אורכי מחזורי הווסת לפי נשים, כאשר הנשים מסווגות לפי סוגי קביעות הווסת שהיו להן, נבחן שונות בין אורכי מחזורי הווסת שמסווגים לפי המצב ההלכתי שבו מחזור הווסת הגיע. הסיווג התבצע בצורה כזו שמחזור הווסת שקבע את סוג הווסת אינו נחשב שהגיע במצב של הווסת הקבוע, מכיוון שרק לאחר ההגעה שלו, המצב ההלכתי הפך למצב וסת קבוע. לעומת זאת, מחזור הווסת שממנו נחשב שהווסת כבר לא קבוע נכלל בחשבון, מכיוון שבהגעה של מחזור וסת זה, האישה נמצאת עדיין במצב ההלכתי של וסת קבוע.

לא נכלול בעבודה זו את הטבלה שבה מסווגים כל אורכי מחזורי הווסת למצבים הלכתיים, בגלל גודלה. יש בה 1,134 מחזורי וסת לא קבוע, 178 מחזורי וסת דילוג, 114 מחזורי וסת הפלגה, 75 מחזורי וסת שבוע, 74 מחזורי וסת דילוג בתוך דילוג ו-57 מחזורי וסת שבוע בדילוג. אך כן נוסף בנספחים את טבלאות השכיחויות של אורכי מחזורי הווסת (בספירת "עד ועד בכלל") לנספחים. סך השכיחויות של מחזורי פעילות של סוגי וסת קבוע – 1,632, יוצא גדול מהמספר הכולל של דיווחי מחזורי וסת – 1,554, מכיוון שיש חפיפות בין מספר סוגי וסת בחלק מהדיווחים. בנספחים מופיעה טבלה, שמפרטת את מספר השכיחויות עבור כל צירופי הווסתות הקבועים האפשריים. בטבלה הבאה רואים סיכום של מדדי מרכז ומדדי פיזור עבור סוגי הווסתות השונים. לאחר המבחנים הסטטיסטיים יוצגו גרפים של התפלגויות השכיחויות לפי סוגי קביעות הווסת.

סוג קביעות וסת	ממוצע	חציון	שכיח	שונות	סטיית תקן
לא קבוע	30.59	30	29	16.09	4.01
הפלגה	28.92	29	29	8.49	2.91
דילוג	29.04	28	28	7.73	2.78
שבוע	29.85	29	29	11.25	3.35
שבוע בדילוג	30.33	30	30	12.4	3.52
דילוג בתוך דילוג	29.55	29	29	12.11	3.48

ממבחן הנורמליות של הנתונים, בעזרת מבחן *Kolmogorov – Smirnov* עם $\alpha = 0.05$, התקבלו התוצאות הבאות:

סוג וסת קבוע	מרחק מפונקציית התפלגות מצטברת נורמלית	$p - value$	האם עבר את מבחן הנורמליות?
הפלגה	$d_{20} = 0.1384$	$p < 0.0001$	לא
דילוג	$d_{48} = 0.1629$	$p < 0.0001$	לא
שבוע	$d_{26} = 0.1671$	$p < 0.0001$	לא
שבוע בדילוג	$d_{18} = 0.18$	$p < 0.0001$	לא
דילוג בתוך דילוג	$d_{35} = 0.1386$	$p = 0.0012$	לא
לא קבוע	$d_{35} = 0.1432$	$p < 0.0001$	לא

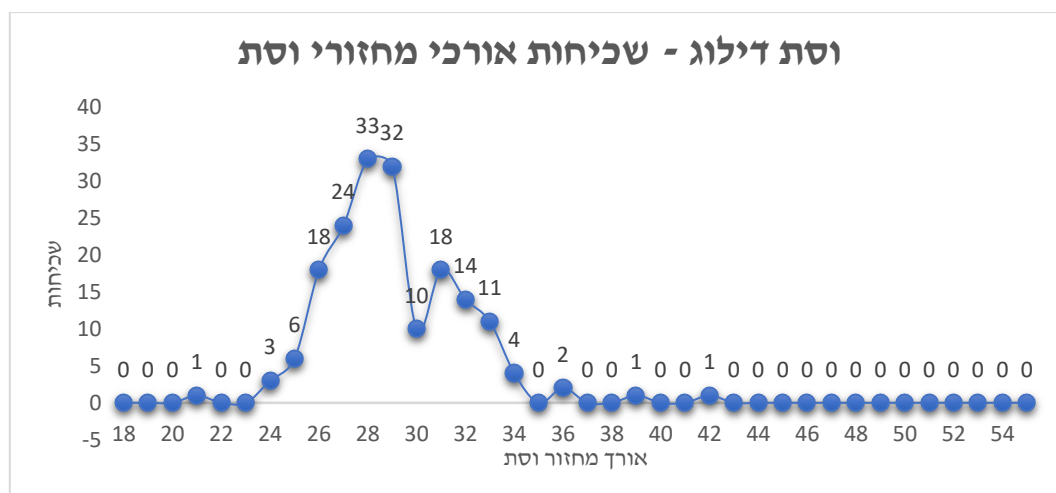
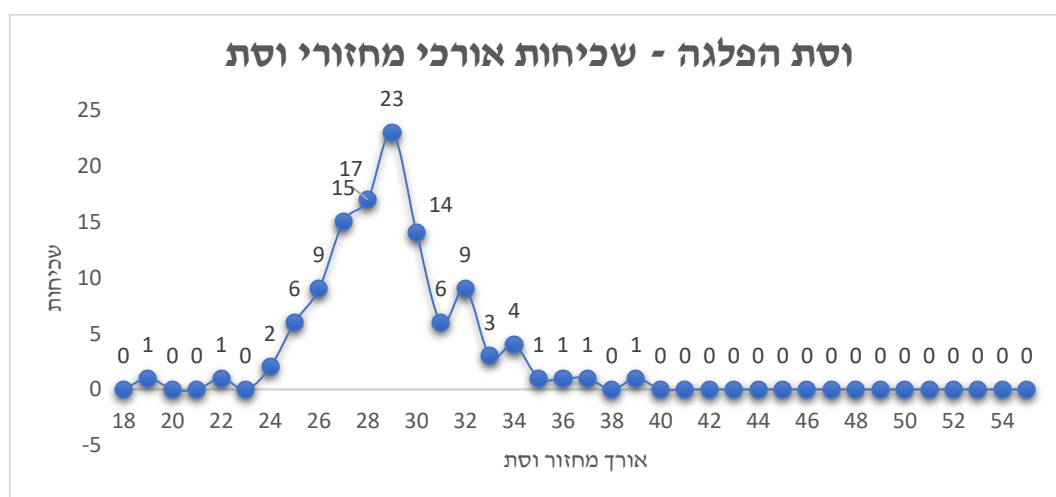
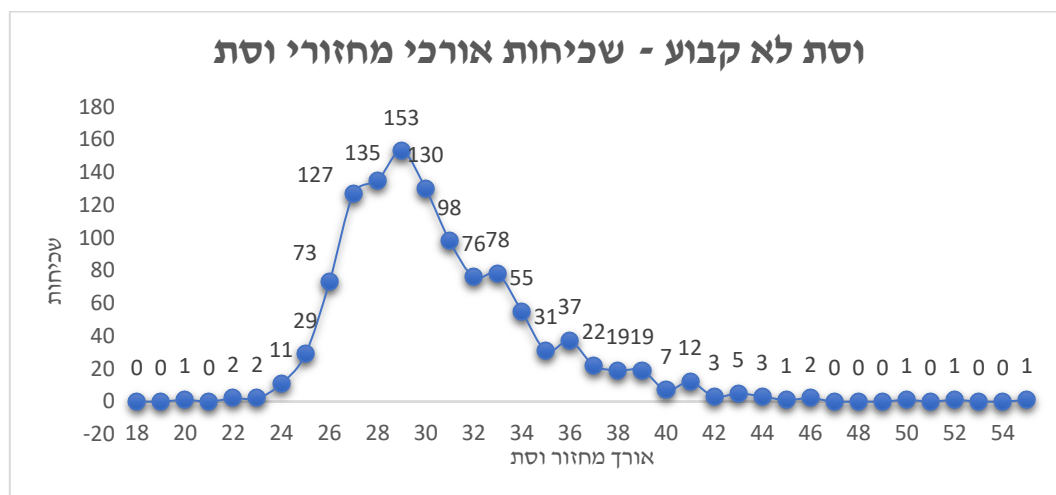
אלה תוצאות שאינן מפתיעות, מפני שאנחנו מודעים לכך שמחזורי וסת אינם מתפלגים נורמלית, אלא עם רכיב נורמלי ורכיב שמוסיף זנב ימני. על פי תוצאות אלו, בוצע מבחן שונות לא פרמטרי – *Kruskal Wallis*, עם השוואות מרובות עם תיקון (Post-hoc) בעזרת שיטת *Dunn*, בין כל אפשרויות הזיווג האפשריות. תוצאות ההשוואות, כולל הדגשת תוצאות חריגות, בטבלה הבאה:

מובהקות התוצאה	<i>Adjusted p – value</i>	האם מחזורי הווסת שונים בצורה מובהקת	סוגי קביעות וסת נבחנים	
גבוהה מאוד	$p = 0.0006$	כן	הפלגה	לא קבוע
גבוהה מאוד	$p < 0.0001$	כן	דילוג	לא קבוע
גבוהה מאוד	$p > 0.9999$	לא	שבוע	לא קבוע
גבוהה מאוד	$p > 0.9999$	לא	שבוע בדילוג	לא קבוע
גבוהה מאוד	$p > 0.9999$	לא	דילוג בתוך דילוג	לא קבוע
גבוהה מאוד	$p > 0.9999$	לא	דילוג	הפלגה
גבוהה מאוד	$p > 0.9999$	לא	שבוע	הפלגה
נמוכה	$p = 0.134$	לא	שבוע בדילוג	הפלגה
גבוהה מאוד	$p > 0.9999$	לא	דילוג בתוך דילוג	הפלגה
גבוהה מאוד	$p > 0.9999$	לא	שבוע	דילוג
נמוכה	$p = 0.1044$	לא	שבוע בדילוג	דילוג
גבוהה מאוד	$p > 0.9999$	לא	דילוג בתוך דילוג	דילוג
גבוהה מאוד	$p > 0.9999$	לא	שבוע בדילוג	שבוע
גבוהה מאוד	$p > 0.9999$	לא	דילוג בתוך דילוג	שבוע
גבוהה מאוד	$p > 0.9999$	לא	דילוג בתוך דילוג	שבוע בדילוג

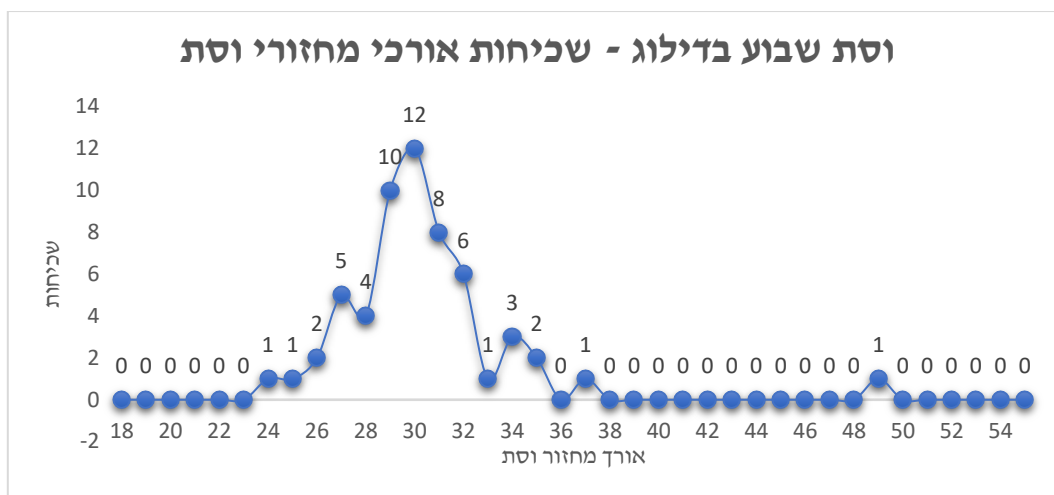
התוצאות מציגות שקיימים הבדלים מובהקים מאוד בין מחזורי וסת במצב של וסת לא קבוע לבין מחזורי וסת במצב של וסת הפלגה ולבין מחזורי וסת במצב של וסת דילוג. כמו כן, ההבדלים בין מחזורי וסת של וסת שבוע בדילוג למחזורי הווסת של וסתות ההפלגה והדילוג, אינם שונים במידה מספיק מובהקת על מנת לעבור את מבחן השונות. כל שאר ההשוואות הובילו לתוצאה של חוסר שונות מובהק ביותר.

תרשימי ההתפלגויות של מחזורי וסת לפי סוג הווסת

כדי להבחין בשונות ובדמיון בין ההתפלגויות השונות, נתבונן בגרפים של ההתפלגויות וההתפלגויות המצטברות שמתאימות עבור כל סוג וסת.

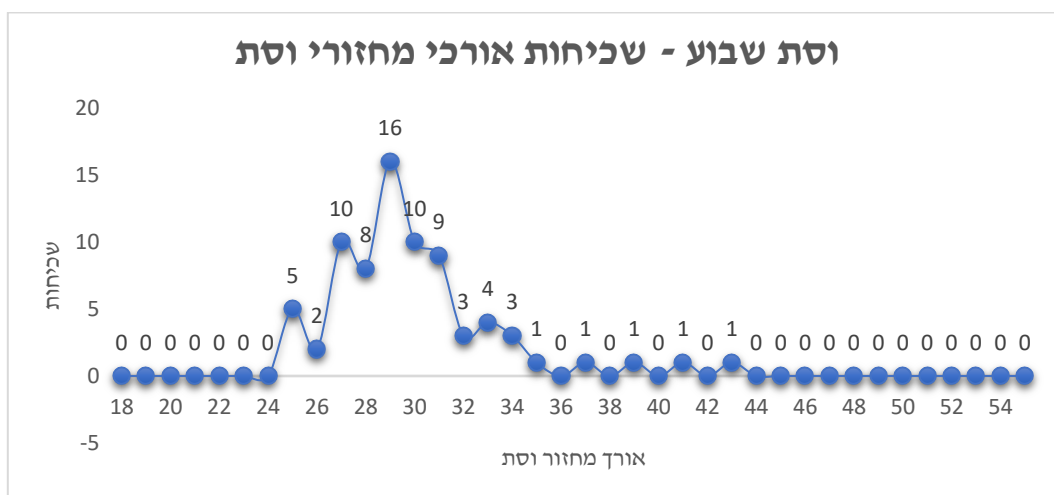
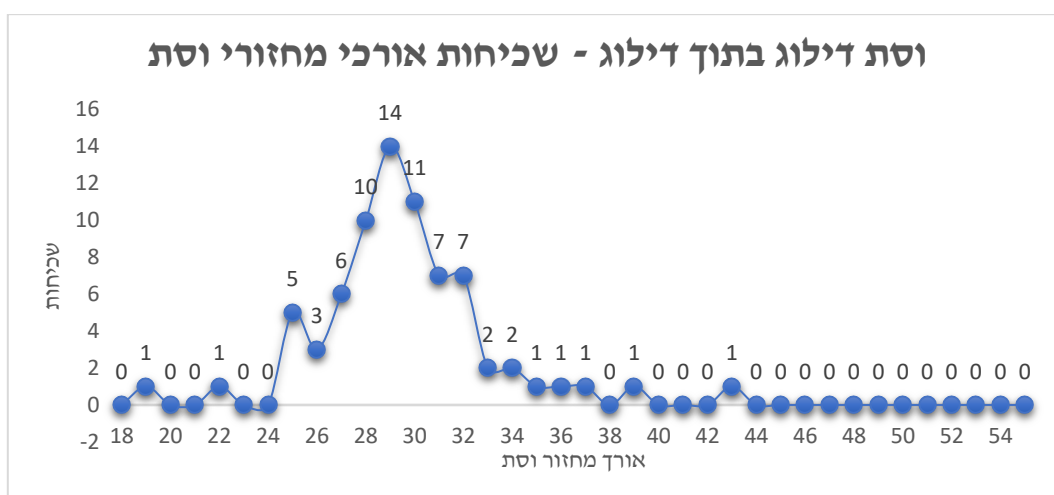


בהתבוננות על 3 הגרפים האלו, רואים בבירור שצורות ההתפלגות של וסתות הפלגה ודילוג דומות אחת לשנייה, אך שונות מצורת ההתפלגות של וסת לא קבוע.



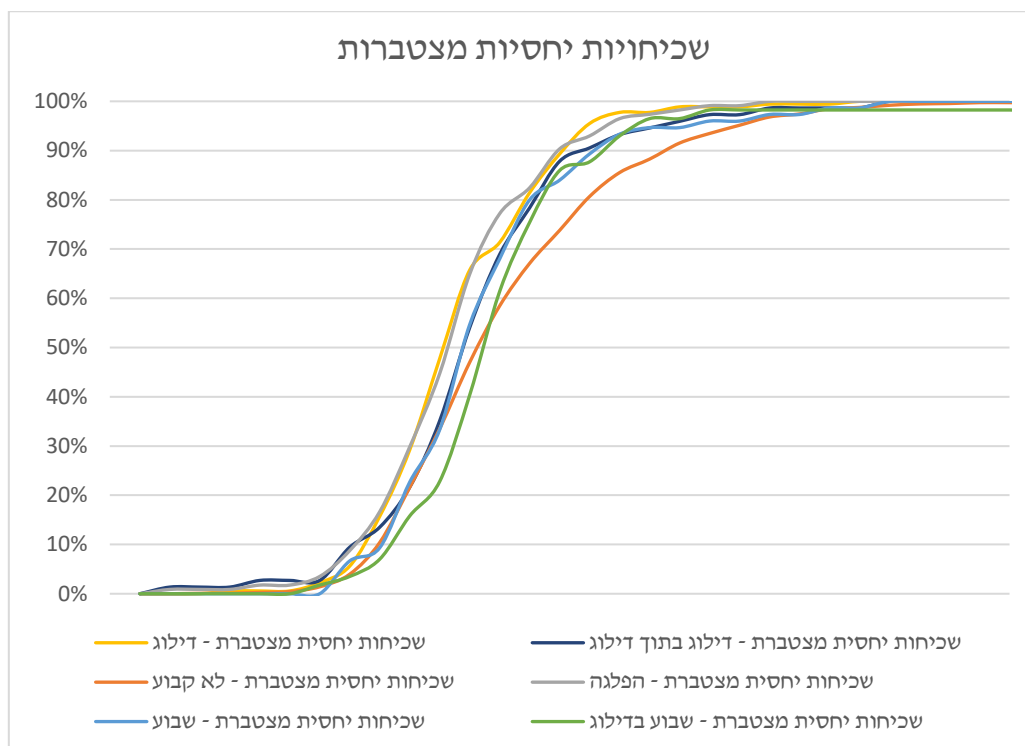
המבחנים הסטטיסטיים הצביעו על כך שקיימות שוניות, בין ההתפלגות של וסת השבוע בדילוג לבין ההתפלגויות של וסתות ההפלגה והדילוג. המובהקות של השוניות האלה, אינה מספקת בכדי לעבור את מבחן השונות.

נותר להביא את הגרפים של 2 התפלגויות סוגי הווסתות שיצאו דומים בצורה מובהקת לכל שאר הסוגים:

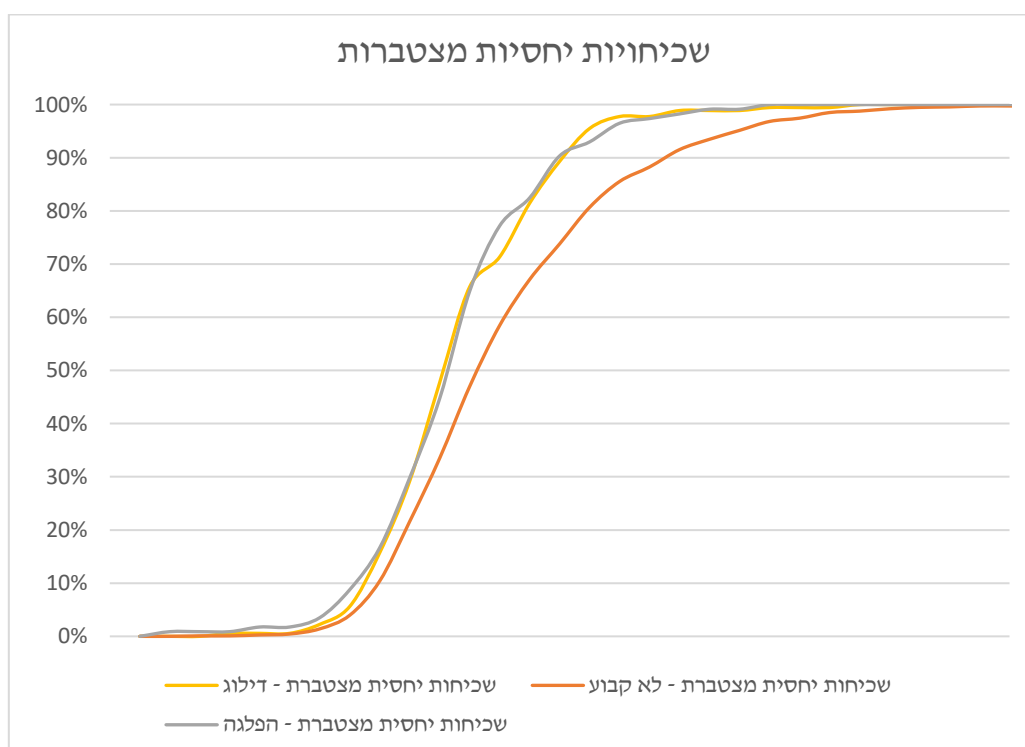


התפלגויות מצטברות של מחזורי וסת לפי סוג הווסת

בגרף הבא מוצגות כל פונקציות ההתפלגויות המצטברות של סוגי קביעות הווסת השונים



בהתמקדות על ההתפלגויות שיצאו שונות בצורה מובהקת ביותר, וסתות הפלגה ודילוג מול וסת לא קבוע, נקבל את הגרף הבא, בו בולט ההבדל בין ההתפלגויות.



בפרק זה, הוצגו מבחני שונות בין סטיות תקן וממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים, שמסווגות לפי סוגי וסתות קבועים שהיו להן. ממבחני השונות התקבל שממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים שאינן קובעות וסת, שונים בצורה מובהקת מממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים שקובעות וסת. תוצאה זו מובהקת עבור ההשוואות ביחס לקביעת וסת ההפלה וקביעת וסת שבוע בדילוג, אך אינה מובהקת עבור השוואות ביחס לקביעת וסת דילוג, וסת שבוע וקביעת וסת דילוג בתוך דילוג⁶⁰.

תופעה דומה התקבלה עבור סטיות התקן של אורכי מחזורי הווסת. תופעות אלו עשויות להיות מוסברות בכך שאצל נשים שאינן קובעות וסת, אורכי מחזורי הווסת בעלי סדירות נמוכה יותר ובעלי פיזור גדול יותר. גורמים אלו מונעים מהן לקבוע וסת, וגורמים לממוצעי אורכי מחזורי הווסת שלהן לגדול⁶¹.

לעומת זאת, התקבל שאין שונות מובהקת בין אורכי מחזורי הווסת של נשים שמסווגות לפי סוגי קביעות הווסת השונים. תוצאה שעולה בקנה אחד עם אי התלות שהתקבלה עבור רוב זוגות סוגי קביעות הווסת.

במבחני השונות בין אורכי מחזורי הווסת שמסווגים לפי סוגי קביעות וסת, התקבלו הבדלים מובהקים מאוד בין מחזורי וסת במצב של וסת לא קבוע לבין מחזורי וסת במצבים של וסת הפלה ובמצבים של וסת דילוג. ההבדלים בין מחזורי וסת במצבים של וסת שבוע בדילוג למחזורי וסת במצבים של וסתות ההפלה והדילוג, אינם שונים במידה מובהקת מספיק בכדי לעבור את מבחן השונות. שאר ההשוואות בין סוגי מחזורי הווסת השונים הובילו לתוצאה מובהקת שאין שונות ביניהם.

להערכתנו, לאחר ביצוע שני סוגי מבחני שונות אלו, החלוקה המהותית יותר היא בין נשים, ולא בין סוגי מחזורי וסת. כלומר, בבחינת התופעות של סוגי הווסתות השונים, נכון יותר לפצל את הנתונים לפי נשים תחילה (כפי שנעשה בחלק הראשון של פרק זה).

⁶⁰ בביצוע מבחן *Mann – Whitney* בין ממוצעי נשים שאינן קובעות וסת מול נשים שקובעות וסת דילוג בתוך דילוג התקבל $p - \text{value}$ ששווה 0.1228.

⁶¹ מכיוון שמחזור הווסת מוגבל לאורך מינימלי, פיזור גדול יתקבל הרבה פעמים כאשר לאישה יש גם מחזורי וסת ארוכים.

רקע הלכתי

במשנה (נידה, א, א וגם ט, ח), הביטוי 'אישה שיש לה וסת' מתייחס לאישה בעלת וסת קבוע (וסת זמן או וסת גוף). מביטוי זה נלמד בהנגדה שהמושג 'אישה שאין לה וסת', המופיע בתלמוד ובספרות ההלכה בכלל, ובברייתא במסכת נידה בפרט (תלמוד בבלי, מסכת נידה, דף יב, עמוד ב), מתייחס לאישה שאין לה וסת קבוע. עולה מהדיון ההלכתי על הברייתא במסכת נידה, שהימצאות של אישה ללא וסת קבוע היא עילה לגירושין. מבלי להתייחס לעומק הפרטים של הדיון, ניתן להבין ממנו שהימצאות של אישה במצב כזה אינה נחשבת טבעית ורגילה.

חיזוק לדברים אלו ניתן למצוא בדברי הטור, יורה דעה, קפד, א: "רוב הנשים יש להן וסתות לראות כל אחת לפי זמנה". מדברי הבית יוסף על דברי הטור ניתן להבין שמדובר בווסת ההפלגה: "כלומר יש רואה לט"ו ימים ויש רואה לעשרים ויש רואה לכ"ה ויש רואה לשלושים".

החשיבות והמרכזיות שייחסו הפוסקים לווסת ההפלגה, בתור המצב הטבעי שבו אמורה להימצא אישה, הובילו אותי להתחיל את בניית המודלים המתמטיים עבור הלכות וסתות עם בניית מודל עבור וסת ההפלגה.

כפי שפורט בפרק א', וסת ההפלגה מתאר אישה שאורכי מחזורי הוסת שלה שווים. וסת ההפלגה נקבע על ידי 3 מחזורי וסת עוקבים באורך זהה. כדי שתיפסק הקביעות של וסת ההפלגה (בשפה הלכתית: כדי שיעקרו וסת ההפלגה), נדרש שתהיינה 3 סטיות רצופות מאורך מחזור הוסת הקבוע. כלומר, לאחר הוסת ה- i ההפרשים שיווצרו על ידי 3 הוסתות הבאים יהיו שונים מההפרש האחרון שהיה באורך של הוסת הקבוע t_i , ויתקיים: $t_i \neq t_{i+1}$ וגם $t_i \neq t_{i+2}$ וגם $t_i \neq t_{i+3}$. לומדים זאת מהמשנה במסכת נידה:

"היתה למודה להיות רואה יום חמשה עשר ושנתה להיות רואה ליום עשרים, זה וזה אסורין. שינתה פעמים ליום עשרים, זה וזה אסורין. שינתה שלש פעמים ליום עשרים, הותר חמשה עשר וקבעה לה יום עשרים, שאין אשה קובעת לה וסת, עד שתקבענה שלש פעמים. ואינה מטהרת הוסת, עד שתעקר ממנה שלש פעמים" (משנה, נידה, ט, י).

עבור אישה שהיו לה שתי סטיות מאורך מחזור הוסת הקבוע, ולאחר שתי הסטיות האלו הגיע אורך מחזור וסת זהה לאורך מחזור הוסת הקבוע, האישה חזרה למצב 'ברירת המחדל' של וסת ההפלגה הקבוע, והיא תצטרך 3 סטיות רצופות ממנו כדי לעקרו.⁶³

⁶² תוכן פרק זה התפרסם כמאמר בכתב עת שפיט: ד. רוס: "שרשרת מרקוב לווסת ההפלגה", בד"ד 36, (תשפ"ב) 77-104. מאמר זה נכתב לפני שלב ניתוח מאגר הנתונים, ועל כן אינו כתוב מנקודת מבט סטטיסטית אלא הסתברותית, בשונה מהפרק הבא.

⁶³ דוגמה מספרית להלכה זו ניתן למצוא בשולחן ערוך, יורה דעה, קפט, יד.

נבחין בכך שיש 3 אפשרויות לעקירת וסת ההפלגה:

1. עקירת וסת תוך כדי קביעת וסת הפלגה חדש (על ידי רצף של 3 מחזורי וסת באורכים זהים), כאשר

$$t_i \neq t_{i+1} = t_{i+2} = t_{i+3}$$

2. עקירת וסת עם רצף של 2 מחזורי וסת באורכים זהים, כאשר $t_{i+1} \neq t_{i+2} = t_{i+3}$

3. עקירת וסת על ידי מחזור וסת באורך שונה מקודמו, כאשר $t_{i+2} \neq t_{i+3}$

לאחר שנעקר וסת קבוע, קיימת דרך נוספת לקביעת וסת מלבד האפשרות לקביעת וסת הפלגה אחר (על ידי רצף של 3 אורכי מחזורי וסת זהים). השולחן ערוך, יורה דעה, קפט, טו פוסק עפ"י הראב"ד והרא"ש על התלמוד הבבלי (נידה, סד, א): "שינתה ראיותיה ולא הושה אותם, כגון: ששינתה פעם אחת ליום שלושים, והשנייה לשלושים ושניים, והשלישית לשלושים וארבעה, נעקר הווסת הראשון ואין לה וסת כלל. ואם חזרה לראות ביום הווסת הראשון, חוזר לקביעתו הראשון וחוששת לו...". כלומר, אם לאחר שנעקר וסת הפלגה קבוע, הגיע מחזור וסת באורך זהה לאורך מחזור וסת ההפלגה הקבוע האחרון שהיה לה, חוזר מעמדה ההלכתי להיות של אישה בעלת וסת קבוע.

על זמני הפרישה סמוך לווסת בזמני וסת קבוע לומדים מחומש ויקרא, יח, יט, שם נמצא איסור משכב עם נידה: "אֶל אִשָּׁה בְּנִדָּתָהּ לֹא תִקְרַב לְגִלּוֹת עִרְוָתָהּ... וְאִישׁ אֲשֶׁר יִשְׁכַּב אֶת אִשָּׁה דְּוָה וְגִלָּהָ אֶת עִרְוָתָהּ... וְנִכְרְתוּ שְׁנֵיהֶם מִקֶּרֶב עַמָּם". מהחשש שמא יבואו איש ואישה לקיים יחסי אישות בזמן שהאישה נידה, נאסרה⁶⁴ התייחדות בזמנים שבהם יש חשש להגעת וסת. השם שניתן בספרות ההלכה להימנעות מהתייחדות הוא 'פרישה סמוך לווסת'. כך פסק השולחן ערוך (יורה דעה, קפד, ב) לגבי וסת קבוע: "בשעת וסתה צריך לפרוש ממנה עונה אחת... אם הוא בלילה פורש כל הלילה ומותר ביום שלפניו ולאחריו, בין שקבעה בג' פעמים או בפעם אחת".

במשנה (נידה, ט, י) לעיל, מופיע שכאשר חלה סטייה מווסת קבוע, צריך לחשוש להפרש הווסת הקבוע ולהפרש הסטייה: "היתה למודה להיות רואה יום חמשה עשר ושנתה להיות רואה ליום עשרים, זה וזה אסורין". הבית יוסף (יורה דעה, קפט, ב דיבור המתחיל במילים "ואפילו קודם") הסביר שהמשנה התייחסה, בנוסף לחשש מיום ההפלגה מהסטייה מהווסת הקבוע, לחשש מיום החודש הזהה לתאריך הסטייה (לדוגמה: אם הסטייה התרחשה בג' ניסן, צריך לחשוש לג' באייר).⁶⁵ בבניית המודל ההסתברותי בפרק זה לא יוחס הבדל למקרים בהם יום החודש ויום ההפלגה חופפים זה לזה.

⁶⁴ השימוש בניסוח זה נראה כהצגת האיסור כגזרת חכמים, אך למעשה יש מחלוקת בנושא. לגבי פרישה סמוך לווסת שאינו קבוע, נקבע שהאיסור הוא מדברי חכמים (טהרת הבית עמוד צא).

⁶⁵ לשון הבית יוסף: "ומשמע דבין בוסת הפלגות בין בוסת הימים איירי מתניתין".

לאישה שהיה לה בשלב כלשהו וסת הפלגה קבוע, יש מספר בן-מנייה של מצבים הלכתיים אפשריים. מצבים אלו מתחלקים לשתי קבוצות:

1. וסת הפלגה קבוע.

2. ללא קביעות של וסת הפלגה – וסת שאינו קבוע.

בשתי קבוצות אלו יש מצבים המתארים תהליך מעבר בין הקבוצות: בווסת הפלגה קבוע כל סטייה מהווסת או חזרה עליו תתאים למצב הלכתי מסוים, בווסת שאינו קבוע חזרה או שוני באורך מחזור הווסת של וסתות עוקבים, יתאימו למצבים הלכתיים אחרים.

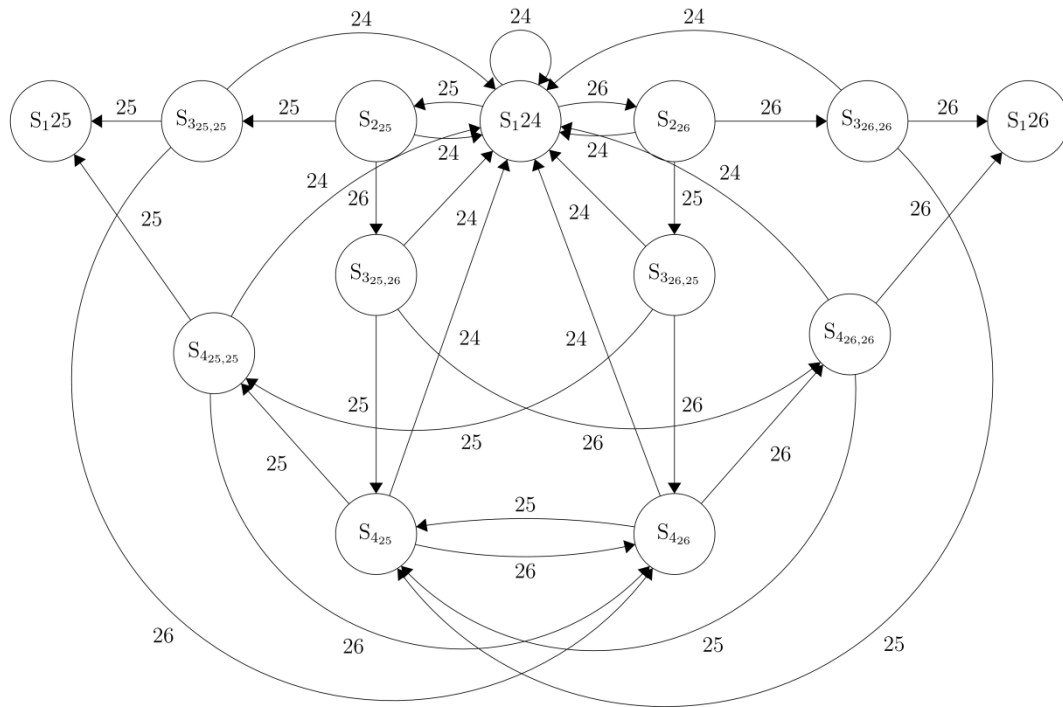
כדי להציג מערכת שתתאר את המצבים ההלכתיים האלו, נדרש לבנות מערכת המתארת תהליך מתמשך ומתפתח לאורך זמן, שתתאר מעברים בין המצבים ההלכתיים. כדי לחקור את המערכת מבחינה הסתברותית, נדרש לתאר ולהתאים הסתברויות למעברים בין המצבים. לכן שרשרת מרקוב היא המודל שעליו נבסס את מערכת המצבים ההלכתית של וסת ההפלגה. תכונת "חוסר הזיכרון" שיש לשרשרת מרקוב מאפשרת לשער את ההסתברות למעבר ממצב אחד למשנהו ללא תלות באופן ההגעה אליו. תכונה זו חשובה לתיאור המערכת ההלכתית של הלכות וסתות, מפני שהדרישות ההלכתיות בכל מצב אינן תלויות בדרך שבה המצב נוצר. לדוגמה, היחס ההלכתי לאישה בעלת וסת קבוע שחזר על עצמו 3 פעמים, זהה ליחס ההלכתי לאישה בעלת וסת קבוע שחזר על עצמו 8 פעמים. לאישה בעלת וסת שאינו קבוע במשך 5 מחזורי וסת עם הפרש של 28 ימים בין 2 הווסתות האחרונים שלה, יש דרישות הלכתיות זהות כמו לאישה שווסת ההפלגה הקבוע שלה נעקר על-ידי הפרש של 28 ימים⁶⁶.

אולם, אם בניית המערכת תתבצע בעזרת שרשרת מרקוב רגילה, נקבל מערכת מצבים עם מספר מצבים גדול מאוד, מפני שלכל מצב הלכתי צריך להיות מותאם מעבר עבור כל אורך מחזור וסת אפשרי. גם אם נניח שיש הגבלת אורכי מחזורי וסת מקסימליים ומינימליים נקבל מערכת מצבים גדולה מאוד:

1. מצבי וסת קבוע לכל אורך מחזור וסת אפשרי (מצבים בשם S_1 באיור להלן).
2. מצבים עבור כל סטייה אפשרית מהווסת הקבוע (S_2).
3. מצבים לכל סטייה שנייה אפשרית – עבור סטיות חוזרות ועבור סטיות שונות (S_3).
4. מצבים עבור וסת לא קבוע – כאשר אורך מחזור הווסת שונה מקודמו, או ברצף של שני מחזורי וסת באורכים זהים (S_4).

⁶⁶ בתנאי שלאישה הראשונה בעלת הווסת שאינו קבוע, היה בעבר וסת קבוע וזהו לווסת הקבוע של האישה השנייה, שנעקר וסתה במחזור הווסת האחרון.

על מנת להמחיש את גודל המערכת, נציג דוגמה, על-ידי הגבלת אורכי מחזורי הווסת האפשריים ל-3 אורכים בלבד: 24, 25 ו-26. באיור הבא מוצג חלק ממערכת מצבים, כאשר כל עיגול מסמל מצב הלכתי, כל חץ מסמל מעבר ממצב אחד למשנהו והסימונים שמוצמדים לחיצים מסמלים את סוג אורך מחזור הווסת שהוביל למעבר. המצבים באיור הבא קשורים לווסת הפלגה קבוע באורך מחזור וסות קבוע של 24 יום בלבד (ללא התייחסות למצבים הקשורים לווסתות הפלגה קבועים באורכי מחזורי וסות של 25 ו-26 ימים). למעשה, באיור מוצגים 13 מתוך 33 מצבים של המערכת כולה:



$S_{1,25}$, $S_{1,24}$ ו- $S_{1,26}$ מייצגים מצבי וסות קבוע באורך 24, 25 ו-26 בהתאמה. $S_{2,25}$ ו- $S_{2,26}$ מייצגים מצבי סטייה מווסת קבוע של 24 יום על ידי מחזור וסות של 25 ו-26 יום בהתאמה. המצב $S_{3,25,25}$ מייצג מצבי סטייה מווסת קבוע של 24 יום, על ידי מחזור וסות באורך 25 יום ולאחריו באורך 25 יום. באופן דומה, מצב $S_{3,25,26}$ מייצג סטיות של 25 ו-26 יום. מצב $S_{3,26,25}$ מייצג סטיות של 26 ו-25 יום, ומצב $S_{3,26,26}$ מייצג סטיות של 26 ו-26 יום.

המצבים בקטגוריה S_4 מייצגים מצבים עם יותר מ-2 סטיות מהווסת הקבוע של 24 יום, כלומר מצבים שעבורם הווסת הקבוע נעקר. אולם, כל עוד לא נקבע וסות חדש, ישנה אפשרות חזרה לקביעת מחזור הווסת באורך 24 יום, על ידי הגעה חוזרת של מחזור וסות באורך זה. מצבים $S_{4,25}$ ו- $S_{4,26}$ מייצגים מצבים לאחר שנעקר הווסת הקבוע, כאשר אורך מחזור הווסת האחרון היה 25 או 26 ימים בהתאמה. המצבים $S_{4,25,25}$ ו- $S_{4,26,26}$ מייצגים מצבים עם רצף 2 אורכי מחזורי וסות זהים, של 25 או 26 בהתאמה. המספרים המופיעים על יד כל חץ מעבר ממצב למצב מייצגים את אורך הווסת שהוביל למעבר.

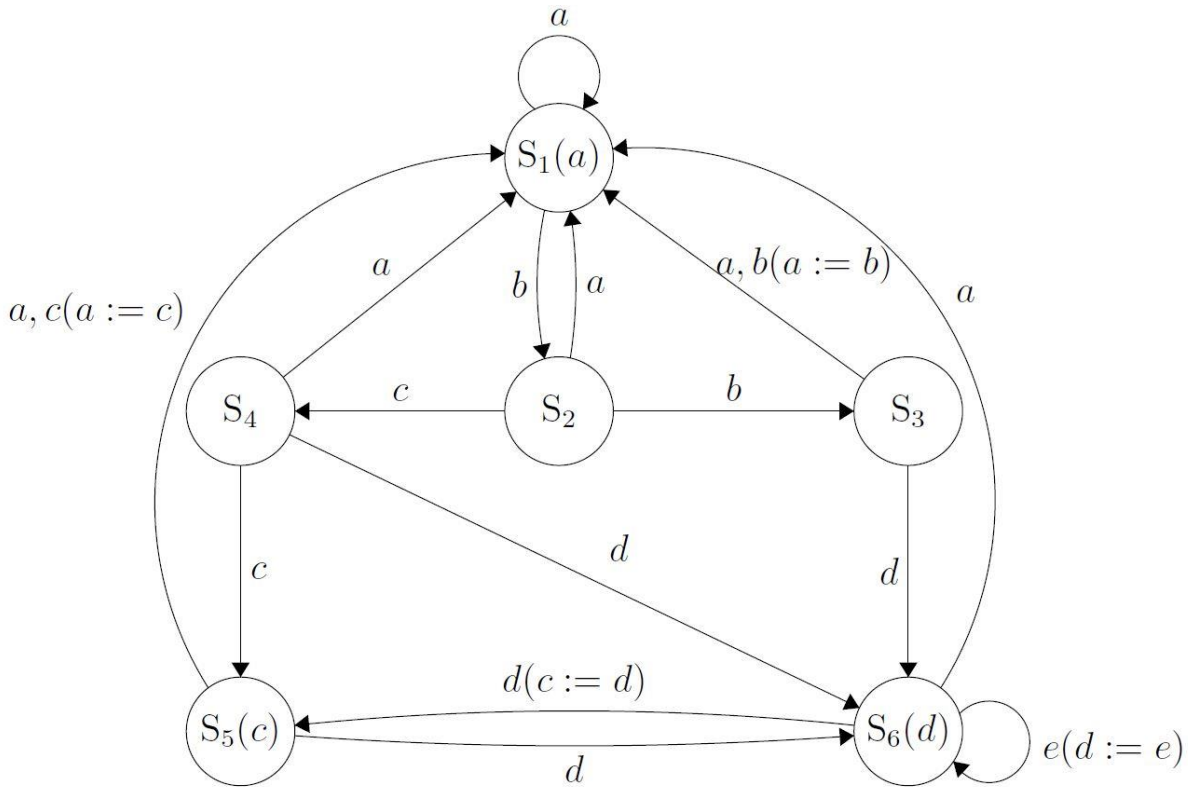
בצורה כללית, עבור טווח אורכי מחזורי וסת בגודל x , מספר מצבי המערכת יתקבל על-ידי הפונקציה:
 $f(x) = x \cdot (x^2 + x - 1)$. לדוגמה, עבור טווח של 15 הימים בין 21 ל-35 יום (בין פולימנוריה לאוליגומנוריה), יתקבלו 3,585 מצבים. פירוט על דרך ההגעה לפונקציה זו וניתוחים בסיסיים שלה מוצגים
 בנספחים.

מכיוון שבספרות ההלכה אין התייחסות שונה לאורכי מחזורי וסת אפשריים, ביחס לסיכויי המעבר בין המצבים ההלכתיים השונים, התקבלה ההנחה שהסתברויות המעבר בין המצבים, אינן משתנות בין וסת קבוע אחד למשנהו. מסיבות דומות התקבלה ההנחה שהסתברויות לרצף של הפלגות זהות אינו משתנה, וכן שסיכויי חזרה על אורך מחזור הווסת הקבוע האחרון שנעקר אינו משתנה.

הנחות אלו מקנות למערכת תכונת איגודיות, מאפשרות להכליל את מערכת המצבים ולבצע פעולת צמצום ל-6 מצבים בלבד. הצמצום התבצע בעזרת סימון המוצג בעמוד הבא. בעבודת מחקר זו לא נעשה שימוש נוסף בצורת סימון זו. נערך ניסיון לפתח מצורת הסימון הזו שיטת איגוד מצבים חדשה, שתצליח לאבד פחות נתונים מהשיטות הקיימות, אך טרם נרשמה הצלחה בכיוון מחקר זה. למרות זאת, אני מקווה להמשיך בחקר זה בעתיד. במידה ואצליח, אוכל להכליל את תכונת האיגודיות שהתאימה עבור פרק זה גם למקרים בהם הסתברויות המעברים שונות זו מזו.

מערכת עם תיאורי מעברים

באיור הבא מוצגת מערכת המצבים, כאשר כל עיגול מסמל מצב הלכתי, כל חץ מסמל מעבר ממצב אחד למשנהו והסימונים שמוצמדים לחיצים מסמלים את סוג אורך מחזור הווסת שהוביל למעבר.



הסימון $b(a := b)$ מתאר "החלפת תפקידים", כאשר בעקבות הגעה של הערך b (אורך מחזור וסת של b ימים) עוברים מצב, ובמצב הבא לערך a יש התייחסות מיוחדת, שאותה יקבל להבא הערך b . לדוגמה: המעבר ממצב S_3 למצב $S_1(a)$ על ידי הערך b , מתאר קביעת וסת הפלגה קבוע באורך שונה מקודמו, לכן המעבר $29(a := 29)$ יתאר את החלפת האורך של מחזור הווסת הקבוע הקודם (a) באורך מחזור הווסת הקבוע החדש – 29.

$S_1(a)$ - מצב התחלתי של וסת הפלגה קבוע באורך מחזור וסת a . למצב זה ניתן להגיע מיד לאחר שנקבע וסת באורך a , או לאחר הגעה של מחזור וסת באורך a לפני שנעקר הווסת. ממצב זה אפשר לחזור בחזרה לעצמו, כאשר אורך מחזור הווסת הבא זהה לאורך מחזור הווסת הקבוע, אחרת יתבצע מעבר למצב S_2 .

S_2 - מצב המתאר וסת קבוע לאחר סטייה ראשונה. כאשר אורך מחזור הווסת הבא יהיה זהה לאורך מחזור הווסת הקבוע, תתבצע חזרה ל- $S_1(a)$. כאשר אורך מחזור הווסת הבא יהיה זהה לסטייה הקודמת, יתבצע מעבר ל- S_3 . כאשר אורך מחזור הווסת הבא יהיה שונה מהסטייה הקודמת, יתבצע מעבר ל- S_4 .

S_3 - מצב המתאר וסת קבוע לאחר סטייה שנייה באורך זהה לסטייה הראשונה. כאשר אורך מחזור הווסת הבא יהיה זהה לאורך מחזור הווסת הקבוע, תתבצע חזרה אל $S_1(a)$. כאשר אורך מחזור הווסת הבא יהיה זהה לאורכי מחזורי הווסת שהובילו לסטיות הקודמות, יתבצע מעבר ל- $S_1(a)$, מעבר כזה יוביל להחלפת הערך a בערך b , שמבטא את הסטיות הזהות מהווסת הקבוע הקודם. למעשה, תיאור המעבר האחרון מבטא את עקירת הווסת הקודם, יחד עם קביעת וסת חדש. במקרה שאורך מחזור הווסת הבא יהיה שונה מהסטיות הקודמות ומאורך מחזור הווסת הקבוע, יתבצע מעבר ל- $S_6(d)$. תיאור המעבר האחרון מבטא את עקירת הווסת הקבוע הקודם ללא קביעת וסת חדש.

S_4 - מצב המתאר סטייה שנייה מהווסת, באורך שונה מהסטייה הראשונה. כאשר אורך מחזור הווסת הבא יהיה זהה לאורך מחזור הווסת הקבוע, תתבצע חזרה ל- $S_1(a)$. כאשר אורך מחזור הווסת הבא יהיה זהה לסטייה הקודמת, יתבצע מעבר ל- $S_5(c)$, שמסמל את עקירת הווסת הקבוע עם רצף של שתי סטיות זהות (באורך מחזור וסת c). כאשר אורך מחזור הווסת הבא יהיה שונה מהסטייה הקודמת ומאורך מחזור הווסת הקבוע, יתבצע מעבר ל- $S_6(d)$, מעבר המוביל לעקירת הווסת הקודם ללא קביעת וסת חדש וללא רצף של הפלגות זהות.

$S_5(c)$ - מצב ללא וסת קבוע, עם רצף של שתי הפלגות שוות באורך מחזור וסת c . כאשר אורך מחזור הווסת הבא יהיה זהה לאורך מחזור הווסת הקבוע הקודם, תתבצע חזרה ל- $S_1(a)$. כאשר אורך מחזור הווסת הבא יהיה זהה לסטיות הקודמות, יתבצע מעבר ל- $S_1(a)$, כאשר הערך a מוחלף בערך c המבטא את הסטיות הזהות מהווסת הקודם. למעשה, תיאור המעבר האחרון מבטא קביעת וסת חדש, יחד עם עקירת הקשר שהיה לווסת הקבוע הקודם. כאשר אורך מחזור הווסת הבא יהיה שונה מהסטייה הקודמת ומאורך מחזור הווסת הקבוע הקודם, יתבצע מעבר ל- $S_6(d)$, מעבר המוביל לעקירת הווסת הקודם ללא קביעת וסת חדש וללא רצף של הפלגות זהות.

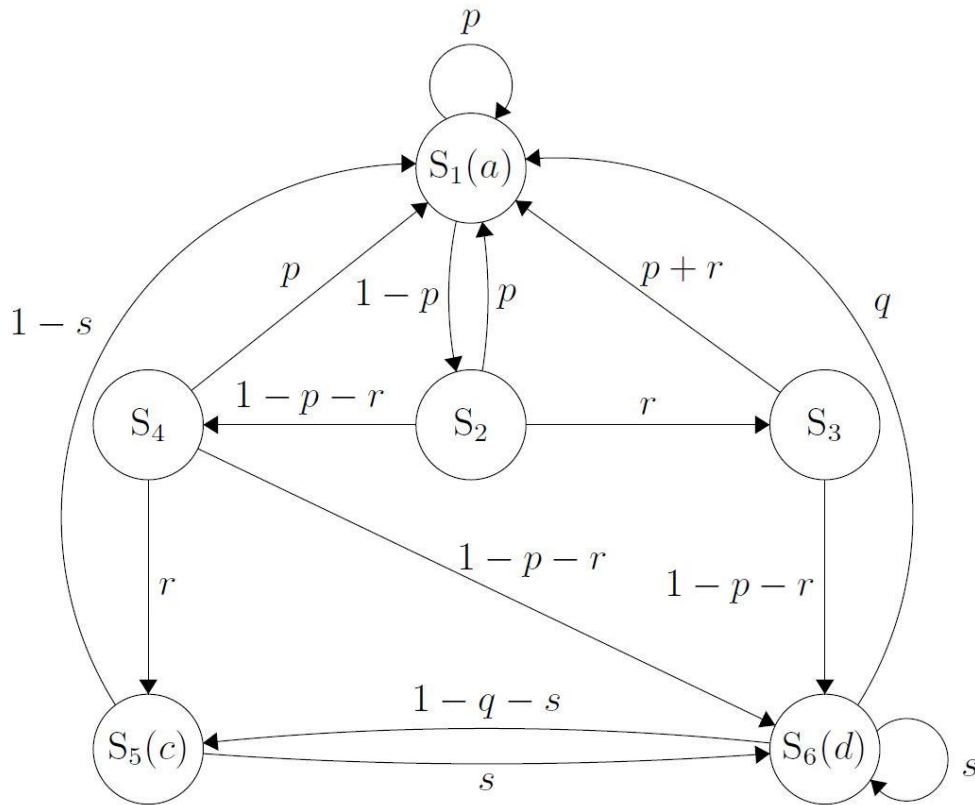
$S_6(d)$ - מצב ללא וסת קבוע, כאשר ההפלגה האחרונה (באורך d) שונה מקודמתה. כאשר אורך מחזור הווסת הבא יהיה זהה לאורך מחזור הווסת הקבוע הקודם, תתבצע חזרה ל- $S_1(a)$. כאשר אורך מחזור הווסת הבא יהיה זהה לסטייה הקודמת, יתבצע מעבר ל- $S_5(c)$, כאשר הערך c מוחלף בערך d , המבטא את הסטיות הזהות מהווסת הקודם. כאשר אורך מחזור הווסת הבא יהיה שונה מהסטייה הקודמת ומאורך מחזור הווסת הקבוע הקודם, יתבצע מעבר ל- $S_6(d)$, כאשר הערך d מוחלף בערך e המבטא את הסטייה השונה מהסטייה האחרונה מהווסת הקבוע הקודם.

לצורך המחשה וחיידוד הבנת מערכת המצבים, להלן מוצגת טבלה המציגה סדרת אורכי מחזורי וסת יחד עם המצבים ההלכתיים המתאימים :

<u>אורך מחזור וסת</u>	<u>מצב הלכתי</u>	<u>הסבר</u>
29	$S_1(29)$ - מצב התחלתי	וסת הפלגה קבוע עם אורך מחזור וסת של 29 ימים.
30	S_2	סטייה ראשונה מהווסת הקבוע.
30	S_3	סטייה חוזרת.
29	$S_1(29)$	חזרה למצב ההתחלתי על ידי חזרה על אורך מחזור הווסת הקבוע.
31	S_2	סטייה ראשונה.
32	S_4	סטייה שנייה שונה.
32	$S_5(32)$	עקירת הווסת הקבוע כאשר שני אורכי מחזורי הווסת האחרונים זהים.
31	$S_6(31)$	וסת לא קבוע כאשר שני אורכי מחזורי הווסת האחרונים שונים.
28	$S_6(28)$	וסת לא קבוע כאשר שני אורכי מחזורי הווסת האחרונים שונים.
28	$S_5(28)$	וסת לא קבוע כאשר שני אורכי מחזורי הווסת האחרונים זהים.
28	$S_1(28)$	קביעת וסת קבוע חדש עם אורך מחזור וסת 28.

מערכת עם הסתברויות מעבר

לאחר הגדרת מצבי המערכת, כולל המעברים בין המצבים, נותר להתאים הסתברויות למעברים. באיור הבא מוצגת מערכת המצבים כאשר למעברים מוצמדות הסתברויות מעבר. לאחר האיור יוצגו ההסברים להסתברויות האלו.



מדברי השולחן ערוך⁶⁷ נובעות מספר מסקנות:

- חומרת הפרישה סמוך לווסת מהתאריך שתואם את אורך מחזור הווסת הקבוע לא משתנה. לכן נייחס למעברים מ- S_1 ל- S_{1-4} הסתברות זהה, ונסמן אותה באות p .
- רמת הביטחון המיוחסת להגעת וסת בהפרש זהה לאורך מחזור הווסת הקבוע, גדולה מזו המיוחסת לתאריכי הפרישה במהלך סטייה מהווסת הקבוע, וכשאין וסת קבוע. את ההסתברויות עבור המעברים שמבטאים סטייה חוזרת מאורך מחזור הווסת הקבוע, נסמן באות r ונדרש שיתקיים $r < p$.

בהלכות פרישה סמוך לווסת מיוחסת חומרה זהה לסטייה מווסת קבוע ולהפרשים חוזרים במהלך וסת לא קבוע – יום ההפלגה, לכן סביר להניח שההסתברויות עבור מעברים אלו תהיינה זהות. למרות זאת, בגלל שבמהלך וסת קבוע קיים גורם דומיננטי (שעשוי להשפיע) בדמות ההסתברות של מחזור וסת באורך מחזור הווסת הקבוע, נבחר לבנות את המודל בצורה יותר כללית, ללא הנחה זו.⁶⁸

⁶⁷ שולחן ערוך, יורה דעה, קפט, ד על פי הרשב"א: "יש חילוק בין קבעתו ג' פעמים ללא קבעתו ג' פעמים, שהקבוע אף על פי שעברה עונתה ולא הרגישה, אסורה לשמש עד שתבדוק ותמצא טהורה. ושלא קבעתו ג' פעמים, אם הגיע זמן הווסת ולא בדקה ולא ראתה, כיון שעברה עונתה, מותרת. ועונה בינונית, שהיא ללי יום, דינה כווסת קבוע." ⁶⁸ נניח את ההנחה הזו בסוף הפרק, בחלק של הצבת הנתונים.

במהלך וסת לא קבוע, את ההסתברות להגעת מחזור וסת באורך זהה לאורך מחזור הווסת הקבוע האחרון שנעקר, נסמן באות q . את ההסתברות למחזור וסת שונה ממחזור הווסת האחרון, ושונה מאורך מחזור הווסת הקבוע האחרון שנעקר, נסמן באות s .

מטריצת ההסתברויות מעברים

נסמן את הסיכוי לעבור ממצב S_i למצב S_j ב P_{ij} , ובהצגה מטריצית נקבל מטריצת מעברים⁶⁹:

$$P = \begin{pmatrix} p & 1-p & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p & 0 & r & 1-p-r & 0 & 0 \\ p+r & 0 & 0 & 0 & 0 & 1-p-r \\ p & 0 & 0 & 0 & r & 1-p-r \\ 1-s & 0 & 0 & 0 & 0 & s \\ q & 0 & 0 & 0 & 1-q-s & s \end{pmatrix}$$

p – הסיכוי שאורך מחזור הווסת הבא יהיה זהה לאורך מחזור הווסת הקבוע של וסת ההפלגה הנוכחי.

r – הסיכוי שהסטייה הבאה מהווסת הקבוע תהיה שווה לסטייה הקודמת.⁷⁰

q – הסיכוי שאורך מחזור הווסת הבא יהיה זהה לאורך מחזור הווסת הקבוע של וסת ההפלגה האחרון שנעקר.

s – הסיכוי שאורך מחזור הווסת הבא יהיה שונה מהקודם לו, כאשר הווסת אינו קבוע.

המטריצה שהתקבלה היא מטריצה סטוכסטית, כלומר סכום כל שורה בה שווה ל-1. בשפה מתמטית:

$\forall i: \sum_{j=1}^6 P_{ij} = 1$. הדטרמיננטה של המטריצה שווה ל-0, כלומר המטריצה אינה הפיכה. את התכונה הזו ניתן לראות בתרשים מערכת המצבים, מכיוון שלא ניתן להפוך את כיווני החיצים. הפולינום האופייני $|P - \lambda I|$ של המערכת הוא⁷¹:

$$\begin{aligned} & \lambda(1-p-r)(p-1)(\lambda \\ & - 1)((\lambda+1)p - (pq + ps + qr + rs) + (q+r)) + \lambda(1-p-r)(p-1)(qs \\ & + (s-1)^2) \\ & + \lambda(1-q-s)(-p^2r - \lambda p^2s - pr^2 - prs + 2pr + \lambda^2ps + \lambda ps + r^2 + rs - r - \lambda^3s) \\ & + \lambda^2((\lambda-s)(-\lambda^3 - \lambda p^2 - p^2r + \lambda^2p + \lambda p - pr^2 + pr + r^2) \\ & + q(p^2r + pr^2 - 2pr - r^2 + r)) \end{aligned}$$

⁶⁹ ההסתברות לעבור ממצב S_i למצב S_j שווה לערך המופיע במטריצת המעברים בשורה ה- i בעמודה ה- j .
⁷⁰ חשוב להזכיר שבמודל המוצג בפרק הנוכחי לא תוארה חלוקה למקרים שבהם עונות הפרישה סמוך לווסת של וסת ההפלגה מתאחדות עם עונות הפרישה סמוך לווסת של העונה הבינונית (כאשר ההפלגה שווה ל-30) ויום החודש (הפלגת 30 יום לחודש מלא ו-29 לחודש חסר).

⁷¹ בחינת תכונות המטריצה נעשתה בעזרת האתר www.wolframalpha.com.

למטריצה קיימים 6 ערכים עצמיים שונים כאשר שניים מהם הם $\lambda_1 = 0$ ו- $\lambda_2 = 1$. ארבעת הערכים העצמיים הנוספים ארוכים ומסובכים לכתובה, ולכן לא נכתבם כאן. תכונה חשובה של הערכים הנוספים היא שהערכים הממשיים והמדומים שלהם קטנים מ-1.

מסקנה חשובה מכך שקיבלנו 6 ערכים עצמיים שונים זה מזה היא שהמטריצה ניתנת ללכסון.

כפי שניתן לראות בעמודה הראשונה של המטריצה, מכל מצב ניתן להגיע אל S_1 . בשפה מתמטית: $\forall i: P_{i1} > 0$. המשמעות שנובעת כמעט מאליה מנתון זה היא שהמצב S_1 אינו מחזורי. נתייחס לכך בהמשך.

מפני שמטריצת המעברים P ניתנת ללכסון, נסמן $P = S * J * S^{-1}$, עם

$$J = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_6 \end{pmatrix}$$

כאשר המטריצה S מתקבלת על ידי הווקטורים העצמיים (שישמשו כעמודות שלה), שהם הפתרונות

$$\text{הלא טריוויאליים למשוואה } (P - \lambda_k I) \vec{v}_k = 0.$$

$$\vec{v}_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ עבור הערך } \lambda_1 = 0 \text{ נקבל וקטור עצמי}$$

$$\vec{v}_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \text{ עבור הערך } \lambda_2 = 1 \text{ נקבל וקטור עצמי}$$

את שאר הווקטורים העצמיים מסובך להציג, ולא נעשה זאת כאן. בנספחים של המשך הפרק, לאחר הצבת נתונים עבור p, r, s, q , יוצגו הערכים העצמיים והווקטורים העצמיים במלואם.

התפלגות המצב היציב של המערכת

התקדמות מטריצת המעברים של שרשרת מרקוב סופית, אי מחזורית ובלתי פריקה שואפת להתפלגות סטציונרית יחידה. כלומר עבור שרשרת מרקוב סופית, אי מחזורית ובלתי פריקה מתקיים:

$$1. \text{ קיים וקטור יחיד } \vec{\pi} = (\pi_1, \dots, \pi_k) \neq \vec{0} \text{ המקיים } \pi P = \pi$$

$$2. \lim_{n \rightarrow \infty} [P^n]_{ij} = \pi_j$$

כפי שצוין לעיל, בשרשרת המתוארת בפרק זה, קיים מצב אי-מחזורי (מצב S_1). כעת נפרט על כך מעט יותר.

למצב S_i יש מחזור באורך k , אם כדי לחזור ממצב S_i ($X_j = S_i$) לעצמו ($X_{j+n \cdot k} = S_i$) צריכים להתבצע מעברים בכפולות של k . בצורה פורמלית, המחזור של מצב מוגדר כך:

$$k = \gcd\{n > 0: \Pr(X_n = S_i | X_0 = S_i) > 0\}$$

כאשר \gcd הוא המחלק המשותף הגדול ביותר (greatest common divisor).

אם $k > 1$, המצב נקרא מחזורי עם מחזור k . אם $k = 1$, המצב נקרא אי-מחזורי.

למצב S_1 ניתן להגיע לאחר כל מעבר אפשרי, ולכן המחלק המשותף הגדול ביותר יהיה $k = 1$. כלומר המצב S_1 אי-מחזורי.

שרשרת סופית בעלת מצב אי-מחזורי ובלתי פריקה היא שרשרת אי מחזורית, לכן כדי להוכיח התכנסות נותר לנו להוכיח שהשרשרת בלתי פריקה.

המשמעות של תכונת בלתי-פריקות, היא שניתן להגיע מכל מצב אל שאר המצבים. ניתן לראות שתכונה זו מתקיימת במערכת בקלות לפי הגרף שלה. כדי להוכיח שלשרשרת מרקוב יש תכונת בלתי-פריקות, מספיק להראות שקיים מספר $n > 0$ שעבורו כל רכיבי המטריצה P^n יהיו שונים מ-0. בשפה מתמטית: $\exists n > 0, \forall i, j: [P^n]_{ij} > 0$. במקרה של מטריצת המעברים של השרשרת שהוצגה, עבור $n = 3$ תנאי זה מתקיים.

יש מספר דרכים למציאת ההתפלגות הסטציונרית. עבור הצורה הכללית של השרשרת בפרק זה, נבחר למצוא את הווקטור $\pi = (\pi_1, \dots, \pi_k)$ שנותן פיתרון לא טריוויאלי עבור המשוואה $\pi P = \pi$. לאחר הצבת הנתונים תוצג הדרך שנעזרת בלכסון מטריצות בנספחים.

$$(\pi P)^T = P^T \pi^T = \pi$$

$$\begin{pmatrix} p & p & p+r & p & 1-s & q \\ 1-p & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-p-r & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r & 0 & 1-q-s \\ 0 & 0 & 1-p-r & 1-p-r & s & s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \pi_4 \\ \pi_5 \\ \pi_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \pi_4 \\ \pi_5 \\ \pi_6 \end{pmatrix}$$

נבצע מספר פעולות⁷² בסיסיות ונבטא בצורה כללית את π :

$$\pi = \begin{pmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \pi_4 \\ \pi_5 \\ \pi_6 \end{pmatrix} = \pi_1 \begin{pmatrix} 1 \\ 1-p \\ r(1-p) \\ (1-p-r)(1-p) \\ (1-p-r)(1-p)\left(r + \frac{(1-q-s)(1-p+sr)}{(1-s)^2 + qs}\right) \\ \frac{(1-p-r)(1-p)(1-p+sr)}{(1-s)^2 + qs} \end{pmatrix}$$

כדי שסכום הרכיבים של הווקטור יהיה שווה ל-1 ($\sum_{i=1}^6 \pi_i = 1$), נדרש ש π_1 יהיה שווה לשבר עם 1 במונה ואורך הווקטור המוכפל בו במכנה.

נחשב את אורך הווקטור בשני שלבים: שלב ראשון עבור המצבים המייצגים וסת קבוע ושלב שני עבור מצבים המייצגים וסת שאינו קבוע.

$$x_1 = \frac{\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4}{\pi_1} = 1 + 1 - p + r(1-p) + (1-p-r)(1-p) = p^2 - 3p + 3$$

$$\begin{aligned} x_2 &= \frac{\pi_5 + \pi_6}{\pi_1} = (1-p-r)(1-p) \left(r + \frac{(1-q-s)(1-p+sr)}{(1-s)^2 + qs} \right) + \frac{(1-p-r)(1-p)(1-p+sr)}{(1-s)^2 + qs} \\ &= (1-p-r)(1-p) \left(r + \frac{(2-q-s)(1-p+sr)}{(1-s)^2 + qs} \right) \end{aligned}$$

כעת נוכל לבטא את π_1 בעזרת x_1 ו- x_2 , ונקבל את וקטור התפלגות המצב היציב π :

$$\pi = \frac{1}{x_1 + x_2} \begin{pmatrix} 1 \\ 1-p \\ r(1-p) \\ (1-p-r)(1-p) \\ (1-p-r)(1-p)\left(r + \frac{(1-q-s)(1-p+sr)}{(1-s)^2 + qs}\right) \\ \frac{(1-p-r)(1-p)(1-p+sr)}{(1-s)^2 + qs} \end{pmatrix}$$

⁷² הפעולות מופיעות בנספחים: חישובים למציאת התפלגות סטציונרית.

ניתוח התפלגות המצב היציב

מפני ש- $0 < p, r < 1$, קל לראות שמתקיים $\pi_3 < \pi_2 < \pi_1$ וגם $\pi_4 < \pi_2 < \pi_1$. יתרה מכך, מתקיים גם $\pi_3 + \pi_4 < \pi_2 < \pi_1$.

עבור $r < \frac{1-p}{2}$, מתקיים $\pi_4 > \pi_3$. עבור $r = \frac{1-p}{2}$, מתקיים $\pi_4 = \pi_3$. עבור $\frac{1-p}{2} < r < 1-p$, מתקיים $\pi_4 < \pi_3$.

ההתפלגות הסטציונרית מתארת את התנהגות המערכת לטווח ארוך. 4 הרכיבים הראשונים בווקטור π מתארים את אחוז הפעמים שהמערכת תהיה במצבי וסת קבוע, ו-2 הרכיבים האחרונים מתארים את אחוז הפעמים שהמערכת תהיה במצבי וסת שאינו קבוע.

היחס בין האחוזים האלו יהיה

$$R = \frac{x_1}{x_2} = \frac{p^2 - 3p + 3}{(1-p-r)(1-p) \left(r + \frac{(2-q-s)(1-p+sr)}{(1-s)^2 + qs} \right)}$$

כדי להבין את התנהגות פונקציית יחס זו, נתבונן במונה ובמכנה בנפרד :

עבור $0 < p < 1$ מתקיים $1 < x_1 < 3$. נוכל להסיק מתוצאה זו שעבור $x_2 \in \mathbb{R}^+$ יתקבל $R \in \mathbb{R}^+$.

כדי לבחון את השפעת כל אחד מהפרמטרים על x_2 , ניתן להעזר בשני כלים שמבחינות מסוימות משלימים זה את זה : נגזרות חלקיות וגבולות. מכיוון שבמקרה הזה הנגזרות החלקיות הן ביטויים מורכבים מאוד ולכן גם מסובכים להסברה בצורה פשוטה. נתמקד בגבולות, על מנת להמחיש את מידת ההשפעה של כל פרמטר ביחס לאחרים על ידי השאפתו לגודל מקסימלי – במודל זה ל-1. מפני שאילוצי הזוגות $p + r < 1$ ו- $s + q < 1$ מבטאים אילוצים המדמים יחס לינארי, את אופן ההשפעה של הגדלת פרמטר אחד על הקטנת הזוג שלו, נבטא בצורת יחס לינארי. כמו כן, נבטא את יחסי ההגדלה וההקטנה המתאימים של הפרמטרים p ו- r ואת יחסי ההגדלה וההקטנה המתאימים של הפרמטרים s ו- q בצורת יחס לינארי.

כדי לבחון את מידת ההשפעה של גדילת ההסתברות s (הסתברות המעבר ממצבים S_5 ו- S_6 ל- S_6), תחילה נשאיף את s ל-1, כך נבחן את האפשרויות שעבורן אישה שעקרה וסת, תישאר ללא וסת קבוע במרבית הזמן.

$$\begin{aligned} \lim_{\{s,q,h\} \rightarrow \{1-h,ah,0\}} x_2 &= \lim_{h \rightarrow 0} (1-p-r)(1-p) \left(r + \frac{(1-p+r)}{h^2(1-a) + ah} \right) \\ &= r(1-p-r)(1-p) + \lim_{h \rightarrow 0} \frac{(1-p-r)(1-p)(1-p+r)}{h^2(1-a) + ah} \end{aligned}$$

כעת, נוסיף לחישוב את מידת ההשפעה של גדילת ההסתברות p לעבור למצב S_1 במהלך וסת קבוע, ולמעשה נשאיף את p ל-1 על מנת לבחון את האפשרויות שאישה שקבעה וסת תישאר בו מרבית הזמן.

$$\lim_{\{p,r,s,q,h\} \rightarrow \{1-h,ah,1-bh,ch,0\}} x_2 = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{h^3(1-a^2)}{b^2h^2(1-c) + ch} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{h^2(1-a^2)}{b^2h(1-c) + c} = 0$$

$$\lim_{x_2 \rightarrow 0} R = \infty$$

נובע מתוצאה זו, שכאשר שתי ההסתברויות s ו- p שואפות ל-1, ההגדלה של p מגדילה את היחס R יותר משההגדלה של s מקטינה את היחס R . כלומר, כשיש סיכויים גבוהים לאישה להישאר במצב של וסת שאינו קבוע כשהיא נמצאת בו ובווסת קבוע כשהיא נמצאת בו, בהסתכלות לטווח ארוך, ברוב הזמן לאישה יהיה וסת קבוע. זוהי התוצאה המשמעותית ביותר עבורנו, כי היא מסבירה שגם אם נניח שההסתברות להישאר בווסת שאינו קבוע, גבוהה מההסתברות להישאר בווסת קבוע ($p < s$), עדיין ברוב הזמן, האישה תהיה בעלת וסת קבוע ($x_1 > x_2$). נסביר על משמעות זו בחלק הסקת המסקנות.

כעת נחליף את השאפת ההסתברות p ל-1, עבור הישארות במצב של וסת קבוע S_1 , בהשאפת ההסתברות r ל-1, עבור הגעת סטייה חוזרת מווסת קבוע.

$$\lim_{\{p,r,s,q,h\} \rightarrow \{ah,1-h,1-bh,ch,0\}} x_2 = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{2h(1-a)}{b^2h^2(1-c) + ch} = \frac{2(1-a)}{c}$$

$$\lim_{\{p,r,s,q,h\} \rightarrow \{ah,1-h,1-bh,ch,0\}} R = \frac{3c}{2(1-a)}$$

ההסתברות לחזרה של אורך מחזור הווסת הקבוע גדולה מההסתברות לסטייה חוזרת ממנו (לפי החומרה ההלכתית בהלכות פרישה סמוך לווסת), כלומר נדרש $r < p$. פירוש של נתון זה הוא שהגבול שמצאנו כרגע לא יתאפשר. לכן לא אפרט על כל המסקנות שניתן להסיק מתוצאה מעניינת זו. למרות זאת, מגבול זה ניתן ללמוד שככל ששיעור ההפחתה מ- p קרוב לשיעור הגדילה של r (כלומר, ככל ש- a מתקרב ל-1) יחד עם שיעורי הפחתה וגדילה של q ו- s בעלי יחס לינארי, התואמים להפחתה של r , היחס R לא יקטן בצורה משמעותית.

לאחר שלמדנו על מידת ההשפעה של הגדלת s , נבחן את מידת ההשפעה של הגדלת הסיכוי לחזור מווסת לא קבוע לווסת קבוע, על ידי אורך מחזור וסת זהה לאורך מחזור הווסת הקבוע שנעקר.

$$\lim_{\{s,q,h\} \rightarrow \{ah,1-h,0\}} x_2 = (1-p-r)(1-p)(1-p+r) = (1-p)((1-p)^2 - r^2)$$

$$\text{הנתון } 1 < p+r < 1 \text{ גורר } 0 < (1-p)((1-p)^2 - r^2) < 1 \text{ ויוצא } 3 < \lim_{\{s,q,h\} \rightarrow \{ah,1-h,0\}} R < \infty$$

המשמעות של תוצאה זו, היא שככל שההסתברות לעבור ממצב של וסת שאינו קבוע בחזרה לווסת האחרון שנקבע גבוהה יותר, היחס בין מספר מחזורי הווסת של אישה בווסת קבוע לבין מספר מחזורי הווסת בווסת שאינו קבוע, יהיה גדול מ-3. תוצאה זו הגיונית אך לא תואמת מעשית את המודל שאנו רוצים

לבנות, מפני שצריך לייחס להסתברות זו ערך נמוך מההסתברות למעבר ממצב של וסת לא קבוע ללא רצף, למצב של וסת לא קבוע עם רצף (כי למעבר כזה חוששים מבחינה הלכתית ולמעבר הנידון לא חוששים), כלומר נדרש $s < q$.

נבחר שלא להציג את תוצאות ההשאפה של זוגות הפרמטרים ל-0, מפני שמצבים אלו אינם סבירים. למעשה, הגבולות שהצגנו מספיקים עבור הסקת מסקנות ברורה: מידת ההשפעה של ההסתברויות p ו- r על המערכת גדולה ממידת ההשפעה של s . כלומר הגודל של הסתברות המעבר ממצב של וסת קבוע חזרה לעצמו (p) והגודל של ההסתברות לסטייה חוזרת מווסת קבוע (r), משפיעים יותר על היחס של כמות מחזורי הווסת שבהם תהיה אישה בווסת קבוע ביחס לכמות מחזורי הווסת שבהם תהיה אישה ללא וסת קבוע. ההשפעה של p ו- r גדולה יותר מההשפעה של גודל ההסתברות s (הסתברות המעבר למצבים ללא וסת קבוע ולמצבים ללא רצף של מחזורי וסת זהים).

הצבת נתונים

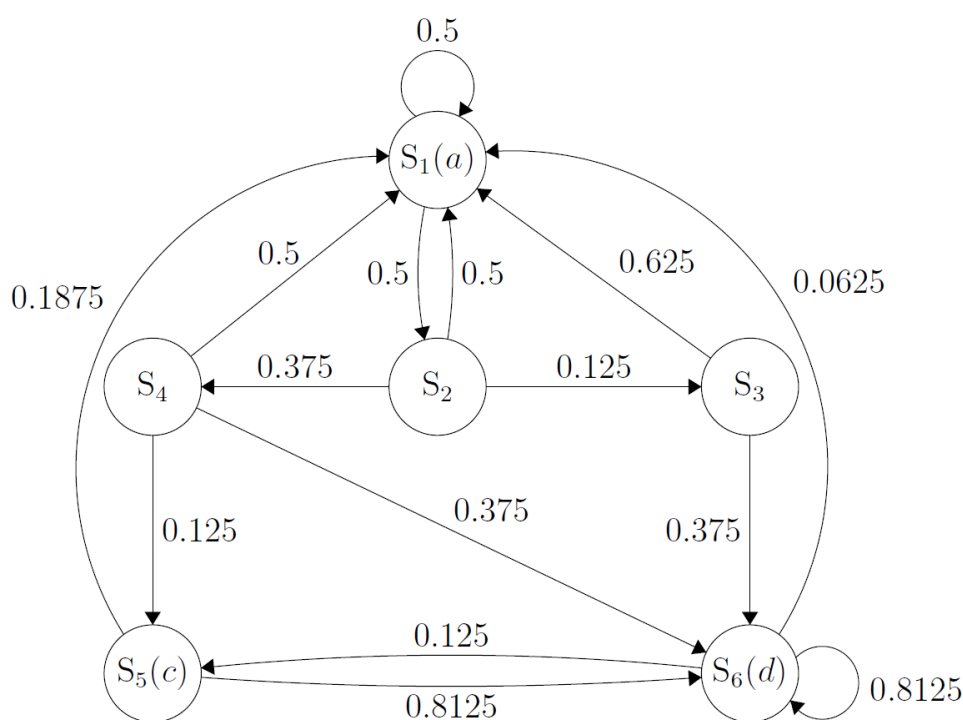
החשש למחזור וסת באורך זהה לאורך מחזור הווסת הקבוע, גדול מהחשש לסטייה חוזרת ממנו, ולכן $p < r$. החשש בווסת קבוע להגעת הווסת באורך מחזור וסת שתואם את הקביעות חזק מאוד, אך איני יודע כיצד נכון לבצע השוואה לסיכוי שתהיה סטייה ממנו, לכן בהצבת הנתונים נבחר לתת לשתי האפשרויות משקל זהה. כלומר $p = 0.5$. חשוב לי לציין שנראה שערך זה נמוך מהערך שחז"ל ייחסו לסיכוי זה בפועל.

מפני שבהלכות פרישה סמוך לווסת רואים שמלבד החשש ליום ההפלה (אורך מחזור וסת זהה), יש חשש גם ליום החודש (תאריך זהה) ולעונה הבינונית (הפרש של שלושים יום), לכן כשנסה לתת יחס בין האפשרות של סטייה חוזרת לבין האפשרות של סטייה נוספת ששונה מהסטייה הראשונה, ניתן משקל רב יותר לסטייה באורך השונה. מצד שני, בהלכות וסתות ניתן למצוא התייחסות ל"אישה שמשנית את וסתה", כלומר הקביעות שלה נשמרת אך אורך מחזור הווסת הקבוע משתנה. לכן, מצד שני יש לתת משקל רב יותר לאפשרות שתהיה סטייה זהה ביחס לשאר ימי החשש שנזכרו בהלכות פרישה סמוך לווסת. לצורך הצבת הנתונים נבחר $r = 3p - 1$, ולכן $r = 0.125$.

מבחינה הלכתית, החשש לווסת באורך זהה, כאשר אין וסת קבוע, זהה לחשש שתהיה סטייה חוזרת במהלך וסת קבוע. מפני שהיחס ההלכתי זהה, נניח ש $r = 1 - q - s$ ולכן $q = 1 - s - r$. בווסת לא קבוע, חוששים לאורך מחזור וסת זהה לקודם, ולא חוששים לאורך מחזור וסת זהה לאורך מחזור הווסת הקבוע האחרון, ולכן $r < 1 - s - r$ ולאחר העברת אגפים $1 - 2r < s$. לאחר הצבת $r = 0.125$ נקבל ש $0.75 < s$. מפני ש- $r + s < 1$ יוצא $0.875 < s < 0.75$. לצורך הצבת הנתונים נבחר את הערך הממוצע $s = 0.8125$.

נשים לב שההסתברות לסטייה מווסת קבוע (p) אמורה להיות קטנה מההסתברות לאורך מחזור וסת שונה במצב של וסת לא קבוע (s). יוצא מכך ש- $p + s > 1$. בהתאמה לנתונים שבחרנו: $0.5 + 0.8125 > 1$.

לאחר הצבת הנתונים, תרשים המצבים, עם הסתברויות מותאמות למעברים, יהיה:



ומטריצת המעברים תהיה:

$$P = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0.125 & 0.375 & 0 & 0 \\ 0.625 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.375 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0.125 & 0.375 \\ 0.1875 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8125 \\ 0.0625 & 0 & 0 & 0 & 0.125 & 0.8125 \end{pmatrix} = \frac{1}{16} \begin{pmatrix} 8 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & 0 & 2 & 6 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 8 & 0 & 0 & 0 & 2 & 6 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 13 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 2 & 13 \end{pmatrix}$$

בנספח "מציאת התפלגות סטציונרית לאחר הצבת נתונים" מוצג התהליך של מציאת ההתפלגות הסטציונרית באמצעות לכסון מטריצת המעברים.

הווקטור המייצג את ההתפלגות הסטציונרית יהיה

$$\vec{\pi} \approx \begin{pmatrix} 0.308 \\ 0.154 \\ 0.019 \\ 0.058 \\ 0.058 \\ 0.404 \end{pmatrix}$$

כעת נוכל לחשב את היחס בין סכום 4 איבריו הראשונים של הווקטור, לבין סכום 2 איבריו האחרונים של הווקטור:

$$\frac{x_1}{x_2} \approx \frac{0.308 + 0.154 + 0.019 + 0.058}{0.058 + 0.404} = \frac{0.539}{0.461} = \frac{7}{6} = 1.1\overline{66}$$

המשמעות של תוצאה זו היא שלאורך זמן, על כל 6 מחזורי וסת שבהם אישה תהיה ללא וסת הפלגה קבוע, יהיו 7 מחזורי וסת שבהם יהיה לאישה וסת הפלגה קבוע.

בפרק זה הצגנו מערכת מצבים מרקובית המדמה תופעות הקשורות ל'יוסט ההפלגה'. בבניית המערכת התחשבנו במספר הלכות מהלכות פרישה סמוך לווסת ומהלכות וסתות. למרות הניסיון לבנות מערכת שמתחשבת בהלכות מרובות, חשוב לציין שבמסגרת מחקר זה לא התאפשר להתחשב בכל ההלכות הרלוונטיות, העשויות להשפיע על המודל (לדוגמא המחלוקת לגבי קביעת וסת בתוך וסת). מפני שהתחשבנו בגורמים המרכזיים, להערכתי, בהתמקדות על השפעת הפרמטר של אורך מחזור הווסת, ללא התחשבות בגורמים כמו הריון ולידה, פעילויות גופניות, תזונה, מצבי לחץ וכדומה, המערכת שנבנתה מייצגת בצורה טובה את גישת חז"ל להסברת וסת ההפלגה.

בעזרת מציאת ההתפלגות הסטציונרית של המערכת, נמצא ביטוי מפורש ליחס בין מספר מחזורי הווסת שבהם אישה צפויה להיות בעלת וסת הפלגה קבוע, לבין מספר מחזורי הווסת שבהם אישה צפויה להיות בעלת וסת לא קבוע.

בוצעה בחינה של מידת ההשפעה של הפרמטרים המסמלים את ההסתברויות למעברים בין מצבי המערכת. מבדיקה זו מתקבל שמידת ההשפעה של הסיכויים להישאר במצב של וסת קבוע, גדולה ממידת ההשפעה של הסיכויים להישאר במצב של וסת לא קבוע. לכן סביר שהיחס הנחקר יהיה גדול מ-1.

לצורך המחשת תוצאות המחקר, בוצעה הצבת נתונים סבירה והתקבלה תוצאה שאכן במרבית הזמן צפויה אישה שקבעה בעבר וסת הפלגה, להיות בעלת וסת הפלגה קבוע (יחס של 6:7 מחזורי וסת). בעזרת הנחות דומות, כדי להגיע למצב שבו היחס יהיה שווה בקירוב ל-1, יש להציב ב- p את הערך 0.43 וב- s את הערך 0.786. למעשה, סביר יותר להניח שחז"ל ייחסו סיכוי גבוה מ-0.5 ל- p , ולכן סביר שיצופה שהיחס הנחקר יהיה גדול יותר מהתוצאה שקיבלנו בהצבת הנתונים בצורה משמעותית.

בעזרת מחקר זה ניתן להבין טוב יותר מדוע חז"ל קבעו ש"רוב הנשים יש להן וסתות לראות כל אחת לפי זמנה" ולחזק את עמדתם.

רקע הלכתי

וסת חצי קבוע (מוכר גם כווסת תרומת הדשן) מתאר מצב הלכתי שבו אין קביעות וסת מהסוגים שנוכרו בפרקים הקודמים, אולם, על פי 3 מחזורי וסת עוקבים, נקבע טווח שבתוכו צפויים להיות אורכי מחזורי הווסת הבאים אחריהם.⁷³ בשונה משאר קביעות וסת, הקביעות שמיוחסות לטווח שנקבע, נעקרת לאחר סטייה בודדת ממנו.⁷⁴ המשמעות של וסת חצי קבוע לגבי החיזוי, באה לידי ביטוי כאשר הטווח האפשרי לאורכי מחזורי וסת לא כולל בתוכו את "העונה הבינונית" (30 יום) ואת יום החודש (תאריך החודש העוקב לאחר הגעת הווסת, שתואם את התאריך שבו הגיע הווסת האחרון). ביתר פירוט, נפסק בדרכי טהרה, ז, יט: "אשה שעלולה לראות רק אחרי 32 יום מתחלת ראיתה, או שלא תראה אחרי 28 יום – אינה צריכה לחשש כמו בעלת וסת שאינה קבוע לשלשת התאריכים דלעיל, אלא רק לתאריך ה"הפלגה", מכיון שאין היא עלולה לראות ב"עונה בינונית" וב"יום החודש". ודוקא עד 28 ומ-32, אבל הרואה עד 29 או מ-31, וכל שכן מ-30 – חוששת לשלשת התאריכים."

שרשרת מרקוב לווסת לא קבוע ולווסת חצי קבוע

את מרחב המצבים ההלכתיים הקשורים לווסת לא קבוע אפשר לקטלג ב-3 קטגוריות:

1. לפני וסת ראשון.
2. אחרי וסת ראשון.
3. אחרי וסת שני.

את המצבים ההלכתיים הקשורים לווסת חצי קבוע אפשר לקטלג ב-2 קטגוריות:

1. וסת חצי קבוע עם טווח אורכי מחזורי וסת, שלפחות אחד מאורכי מחזורי הווסת באורכים 29 – 31 יום מוכלים בו.
2. וסת חצי קבוע עם טווח אורכי מחזורי וסת, שאף לא אחד מאורכי מחזורי הווסת באורכים 29 – 31 יום מוכלים בו.

בחשיבה ראשונית, נראה שאין משמעות הלכתית לקטגוריה הראשונה, מכיוון שבה זמני הפרישה סמוך לווסת זהים לאלה של וסת לא קבוע, אך יש משמעות שבאה לידי ביטוי במניעת קביעת וסת חצי קבוע מהסוג השני. לדוגמה: עבור וסת חצי קבוע עם טווח אורכי מחזורי וסת של 25 – 35 יום, הסיכוי שיצא מחזור וסת מחוץ לטווח מאוד נמוך, לכן ייקח זמן רב עד שיעקר הווסת ותהיה אפשרות לקביעת וסת חצי קבוע חדש, שבו אף לא אחד מאורכי מחזורי הווסת באורך 29 – 31 יום מוכלים בו.

⁷³ הערך המינימלי של הטווח נלמד משולחן ערוך, יורה דעה, קפו, ג: "אשה שאינה רואה בפחות מי"ד ימים אחר טבילתה, אבל לאחר י"ד ימים אין לה קבע, עד י"ד יום דינה כדין אשה שיש לה וסת". לגבי הערך המקסימלי של הטווח יש מחלוקת בין אבני שוהם לדרכי טהרה בהקשר של העונה הבינונית, דרכי טהרה פוסק שאין צריכה לחשוש לעונה הבינונית, אם "רגילה לראות" לפני שהעונה הבינונית מגיעה. אפשר להציג חיזוקים לשני הצדדים, אך אין כאן המקום להתאריך בנושא. בגוף העבודה נבחר בדרך הפסיקה של ספר דרכי טהרה.

⁷⁴ דרכי טהרה, ז, יח.

בעזרת סיווג המצבים לפי ההקשר ההלכתי שלהם, ניתן לבנות מערכת מצבים ומעברים ביניהם. אולם, אם ננסה להחשיב את כל האפשרויות, נקבל מערכת מצבים גדולה מידי לעבודה, וגם לא נוכל לדלות עבודה מספיק נתונים ממאגר הנתונים שיש לנו. מכיוון שאם לדוגמה נתאר מצב של וסת חצי קבוע שטווח אורכי מחזורי הווסת שהוא מכיל גדול מ-20, נקבל 2 שכיחויות תואמות בלבד במאגר, וממספר כזה של שכיחויות לא נוכל לדלות הסתברויות מעבר בעלות משמעות. במחקר עתידי, עם מספיק נתונים וסתות, יהיה עדיף ליצור מערכת מצבים מדויקת יותר.

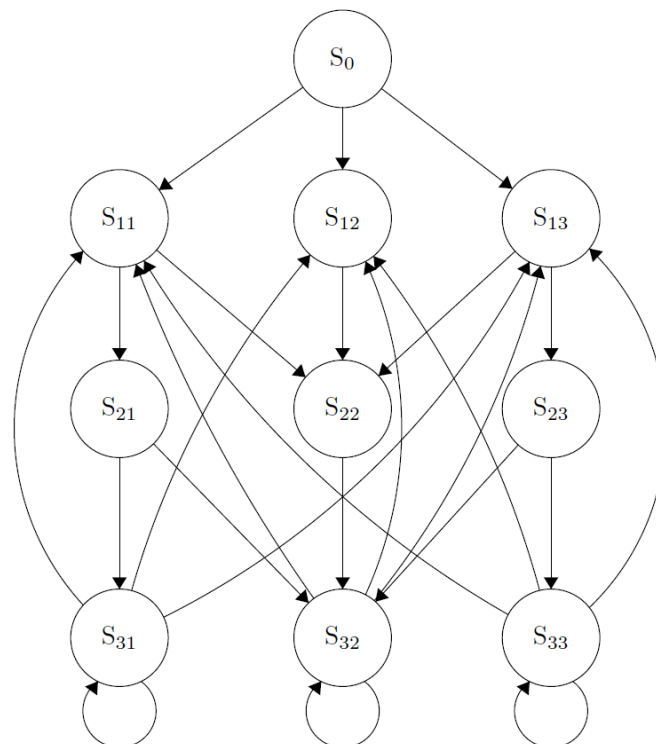
מסיבות אלה הוחלט לאגד את כל הטווחים השונים של אורכי מחזורי הווסת האפשריים, עבור וסת חצי קבוע, לפי חלוקת הטווחים הבאה:

(א) מתחת ל-29.

(ב) מכילים לפחות אורך מחזור וסת אחד מהטווח 29 – 31.

(ג) מעל 31.

השלב הבא הוא להרכיב את מערכת המצבים ההלכתית, עם מצבים ומעברים ביניהם. באיור הבא ניתן לראות את המערכת עבור וסת חצי קבוע. לאחריו יהיו ההסברים עבור המצבים.



מצב S_0 הוא מצב התחלתי, לפני שהגיע מחזור וסת מלא ראשון (בין 2 וסתות). מצב זה רלוונטי לדוגמה, עבור נערות ועבור נשים אחרי לידה.

מצבים S_{11}, S_{12}, S_{13} הם מצבי וסת לא קבוע, אחרי מחזור וסת ראשון או אחרי עקירת וסת חצי קבוע, שמתחלקים לפי הטוחים שזכרו לעיל: S_{11} עבור מחזור וסת באורך קטן מ-29, S_{12} עבור מחזור וסת באורך בין 31 – 29 ו- S_{13} עבור מחזור וסת באורך גדול מ-31.

בדומה, מצבים S_{21}, S_{22}, S_{23} הם מצבים אחרי מחזור וסת שני לא קבוע, שמתחלקים לפי הטוח ששני מחזורי הווסת יוצרים: S_{21} עבור טווח מחזורי וסת שמוגבל מתחת ל-29, S_{22} עבור טווח מחזורי וסת שמכיל לפחות אורך מחזור וסת אחד מתוך 31 – 29, ו- S_{23} עבור טווח מחזורי וסת שמוגבל מעל ל-31.

מצבים S_{31}, S_{32}, S_{33} הם מצבי וסת חצי קבוע: S_{31} עבור טווח מחזורי וסת שמוגבל מתחת ל-29, S_{32} עבור טווח מחזורי וסת שמכיל לפחות אורך מחזור וסת אחד מתוך 31 – 29, ו- S_{33} עבור טווח מחזורי וסת שמוגבל מעל ל-31.

ממצב וסת לא קבוע S_{12} ניתן לעבור רק למצב וסת לא קבוע S_{22} , שלטווח אורכי מחזורי הווסת שלו יש חיתוך עם הטווח 31 – 29. ממצבים S_{11}, S_{13} אפשר לעבור גם כן למצב S_{22} אם לטווח אורכי מחזורי הווסת שנוצר יש חיתוך עם הטווח 31 – 29, במקרים שהחיתוך נוצר על ידי אורך מחזור וסת שנמצא בין 31 – 29 וגם במקרים שאורך מחזור הווסת הנוסף גורם להכלה של הטווח 31 – 29.

ממצב וסת לא קבוע S_{22} ניתן לעבור רק למצב וסת חצי קבוע S_{32} , שלטווח אורכי מחזורי הווסת שלו יש חיתוך עם הטווח 31 – 29. ממצבים S_{21}, S_{23} אפשר לעבור גם כן למצב S_{32} אם לטווח אורכי מחזורי הווסת שנוצר יש חיתוך עם הטווח 31 – 29, במקרים שהחיתוך נוצר על ידי מחזור וסת שנמצא בין 31 – 29 וגם במקרים שאורך מחזור הווסת הנוסף גורם להכלה של הטווח 31 – 29.

ממצבים S_{31}, S_{32}, S_{33} ניתן לחזור לעצמם על ידי אורך מחזור וסת שנמצא בתוך הטווח שקבע את הווסת החצי קבוע שלהם. בנוסף, ניתן לעבור למצב S_{11} על ידי מחזור וסת מתחת לטווח שקבע את הווסת החצי קבוע שלהם, ניתן לעבור למצב S_{13} על ידי מחזור וסת מעל לטווח שקבע את הווסת החצי קבוע שלהם, וניתן לעבור למצב S_{12} על ידי מחזור וסת בטווח 31 – 29 אם הוא מחוץ לטווח שקבע אותם. יש לשים לב, לדוגמה, שניתן להגיע למצב S_{32} עם טווח שלא מכיל את מחזור הווסת באורך 31 יום, למשל על ידי טווח 30 – 25, לכן במידה ויגיע במצב כזה מחזור וסת באורך 31 יום, יתבצע מעבר למצב S_{12} .

כדי להתאים הסתברויות למעברים בין המצבים, נעשה שימוש במאגר הנתונים של מחזורי הווסת. כפי שזכר בפרק ב', סוננו מהמאגר דיווחי הנשים שדיווחו על פחות מ-5 מחזורי וסת, וטופלה כפילות דיווחים של אישה בודדת. לאחר הסינונים, נותרו דיווחים של 118 נשים עם 1,554 מחזורי וסת. כל אורך מחזור וסת שלהן הוגדל ב-1, כדי להגיע לספירה בצורת "עד ועד בכלל" כפי שמקובל בהלכות וסתות. בחלק הסטטיסטי של המחקר, דיווחי מחזורי הווסת ממאגר הנתונים חולקו לקטגוריות של וסתות קבועים ולא קבועים, והתקבל שמתוך 118 הנשים, 20 נשים קבעו וסת הפלגה והיו להן 333 דיווחים על מחזורי וסת. עבור החישובים של וסת חצי קבוע הועדף שלא להחשיב את נשות וסת ההפלגה, מכיוון שווסת ההפלגה היה עלול להיחשב בטעות בתור וסת חצי קבוע, עם גודל טווח אורכי מחזורי וסת בגודל 1.

נבחר שלא לסנן את שאר סוגי מחזורי הווסת, תחת ההנחה שנשים אינן מודעות למעקב אחרי סוגי הווסתות השונים מווסת ההפלה, שנקבעים על ידי חוקיות בין אורכי מחזורי הווסת. בסופו של דבר נותרו 98 נשים שדיווחו על 1,221 מחזורי וסת.

עבור כל אישה נבנתה בתוכנת Excel טבלה שמפרטת עבור כל דיווח מחזור וסת את המצב ההלכתי שמתאים עבורו. לדוגמה, בטבלה הבאה ניתן לראות את הדיווחים של האישה בעלת הזיהוי nfp8043:

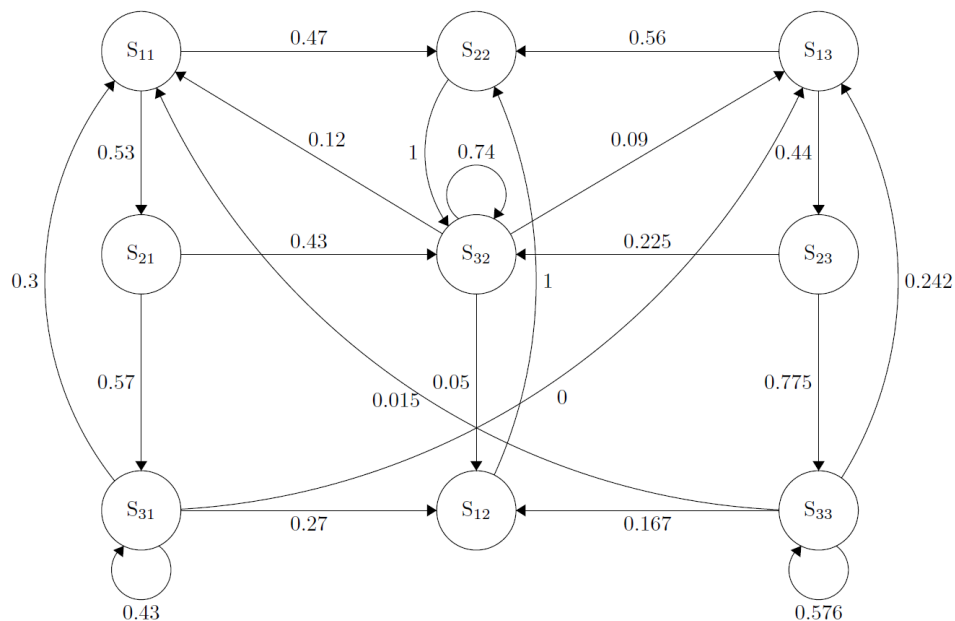
מספר דיווח	אורך מחזור וסת	מינימום טווח	מקסימום טווח	גודל טווח וסת חצי קבוע שנקבע	מצב
1	32	32	32		S13
2	28	28	32		S22
3	30	28	32	5	S32
4	26	26	26		S11
5	29	26	29		S22
6	34	26	34	9	S32
7	30	26	34		S32
8	25	25	25		S11
9	28	25	28		S21
10	26	25	28	4	S31
11	28	25	28		S31
12	27	25	28		S31

בנספחים מופיעות טבלאות שמפרטות את השכיחויות עבור גדלי הטווחים של הווסתות ה"חצי קבועים", גם באופן כללי וגם לפי חלוקה לקבוצות שמפורטת בהמשך.

באיור הבא נוריד מתרשים המצבים את מצב S_0 מפני שהוא חסר משמעות להמשך החישובים, נצמיד לחיצים שמסמלים מעברים בין המצבים את מספר הפעמים שהתרחש מעבר בהם, וגם נחליף בין המיקומים של המצבים בעמודה האמצעית, לצורך הבנה ויזואלית של התאמת מספר למעבר.

מצב מקור	מצב יעד	שכיחות	שכיחות יחסית
S11	S21	48	53%
S11	S22	42	47%
S12	S22	76	100%
S13	S22	54	56%
S13	S23	42	44%
S21	S31	27	57%
S21	S32	20	43%
S22	S32	161	100%
S23	S32	9	22.5%
S23	S33	31	77.5%
S31	S11	13	30%
S31	S12	12	27%
S31	S13	0	0%
S31	S31	19	43%
S32	S11	59	12%
S32	S12	26	5%
S32	S13	45	9%
S32	S32	373	74%
S33	S11	1	1.5%
S33	S12	11	16.7%
S33	S13	16	24.2%
S33	S33	38	57.6%

לאחר החלפה של השכיחויות בהסתברויות בתרשים המצבים, המערכת תיראה כך :



אם נתאים אינדקסים למצבים לפי הסדר $S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{21}, S_{22}, S_{23}, S_{31}, S_{32}, S_{33}$ מטריצת המעברים P של המערכת תיראה כך :

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.53 & 0.47 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.56 & 0.44 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.57 & 0.43 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.225 & 0.775 \\ 0.3 & 0.27 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.43 & 0 & 0 \\ 0.12 & 0.05 & 0.09 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.74 & 0 \\ 0.015 & 0.167 & 0.242 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.576 \end{pmatrix}$$

בזכות המעברים האפשריים ממצבים S_{31}, S_{32}, S_{33} חזרה לעצמם, השרשרת אי-מחזורית. מכיוון שניתן להגיע מכל מצב למשנהו⁷⁷, השרשרת בלתי פריקה. בזכות שתי תכונות אלו, לשרשרת קיימת התפלגות מצב יציב (סטציונרית). התפלגות זו יוצאת במקרה שלנו :

$$\vec{\pi} = (0.078 \quad 0.046 \quad 0.06 \quad 0.041 \quad 0.117 \quad 0.027 \quad 0.041 \quad 0.541 \quad 0.049)$$

מסקנה חשובה שאנחנו יכולים לדלות מתוצאה זו, היא האבחנה מהו אחוז המצבים של נשים, שעבורו אין חשש פרישה סמוך לווסת בעונה הבינונית ובעונת החודש. את התוצאה הזו נקבל בעזרת חיבור שני הרכיבים מווקטור התפלגות המצב היציב שמתאימים למצבים S_{31}, S_{33} :

$$\vec{\pi}_7 + \vec{\pi}_9 = 0.041 + 0.049 = 0.09 = 9\%$$

כלומר, 9% ממחזורי הווסת של נשים, יהיו במצב הלכתי שבו אין צורך לפרוש סמוך לעונה הבינונית ולעונת החודש. בטבלה הבאה מותאמים למצבי המערכת השכיחויות של ההימצאות במצב, השכיחות היחסית ביחס לכלל מחזורי הווסת ורכיב התפלגות המצב היציב התואם את המצב :

מצב	S33	S32	S31	S23	S22	S21	S13	S12	S11	סכום
שכיחות	69	563	46	42	172	48	102	81	98	1221
שכיחות יחסית	5.7%	46.1%	3.8%	3.4%	14.1%	3.9%	8.4%	6.6%	8.0%	100%
רכיב התפלגות המצב היציב	4.9%	54.1%	4.1%	2.7%	11.7%	4.1%	6.0%	4.6%	7.8%	100%

הפערים בין השכיחות היחסית לבין רכיבי התפלגות המצב היציב בכלל, והפער המשמעותי במצב S_{32} בפרט, יכולים להיות מוסברים על ידי כך שדיווחים הופסקו לפני שהיה מספיק זמן למצב S_{32} לצבור שכיחויות לפי המידה המתאימה לו.

⁷⁷ ניתן לראות זאת בבירור כשמחשבים את P^6 .

כשניגשתי ליצירת שרשרת מרקוב לווסת חצי קבוע, עלה בדעתי לאגד את מצב S_{11} עם מצב S_{13} יחד, במקביל לאיגוד של מצבים S_{21} עם S_{23} ושל S_{31} עם S_{33} יחד. בטבלה הבאה מוצגות הסתברויות המעברים מהמצבים המקוריים למצבים המאוגדים:

מצב יעד מאוגד	הסתברות מעבר	מצב מקור
S1	0.53	S11
	0.44	S13
S2	0.57	S21
	0.775	S23
S3	0.43	S31
	0.576	S33

התנאי של תכונת איגודיות בשרשראות מרקוב (Lumpability) הוא שהסתברויות המעבר מהמצבים המאוגדים ואליהם תישמרנה. כפי שניתן לראות בטבלה, יש פער שאינו זניח בין הסתברויות המעבר, לכן נבחר שלא לאגד את המצבים. מאידך, מכיוון שאין חפיפה בין נשים שעוברות את המסלול ממצב S_{11} עד למצב S_{31} לבין הנשים שעוברות את המסלול ממצב S_{13} עד למצב S_{33} , התקבלה ההחלטה לפצל את מערכת המצבים ל-2 תתי מערכות. לשם כך היה צורך לשקלל את התאמת הסתברויות המעבר לתתי המערכות, בצורה כזו שתת המערכת תוכל להוות שרשרת מרקוב עם מטריצת מעברים סטוכסטית (שבה כל סכום שורה שווה 1). כך נוכל לתאר מערכות מצבים שונות עבור סוגי הנשים השונות בנפרד: נשים בעלות מחזור וסת שנוטה להיות קצר, ונשים בעלות מחזור וסת שנוטה להיות ארוך.

בתהליך הפיצול הוצעו מספר אפשרויות:

1. נירמול הסתברויות המעבר ממצבים שמשותפים ל-2 תתי המערכות.
2. חישוב הסתברויות מעבר מחדש, עבור כל קטגוריה של נשים בנפרד: נשים שהגיעו למצב S_{31} בנפרד מנשים שהגיעו גם למצב S_{32} , ובדומה להפריד גם בין נשים שהגיעו למצב S_{33} בלבד מנשים שהגיעו גם למצב S_{32} .
3. חישוב הסתברויות מעבר מחדש, עבור הפרדה לשתי קטגוריות בלבד, לפי תתי המערכות: נשים שהגיעו למצב S_{31} , ונשים שהגיעו למצב S_{33} .

כדי להחליט איזו מבין האפשרויות עדיפה, נבנתה טבלת התפלגות שכיחויות של הסוגים השונים: למצב S_{31} הגיעו 16 נשים, למצב S_{32} הגיעו 90 נשים ולמצב S_{33} הגיעו 24 נשים. החיתוכים בין סוגי הקבוצות הם הנשים שהגיעו לשני סוגי מצבי וסת חצי קבוע:

$$S_{31} \cap S_{32} = 14, \quad S_{33} \cap S_{32} = 18$$

בעזרת עיקרון ההכלה וההפרדה, יוצא שהיו $58 = 18 - 14 - 90$ נשים שהגיעו למצב וסת חצי קבוע S_{32} . כדי להחליט האם נכון לחשב את הסתברויות המעבר מחדש, עם התמקדות בנשים שהגיעו ל-2 סוגי וסתות חצי קבועים, מתוך מטרה ללמוד על תתי הקבוצות האלו בנפרד, נבחר לבצע מבחן שונות סטטיסטי על ממוצעי אורכי מחזורי הווסת של הנשים בתתי הקבוצות השונות.

היו 2 נשים שהגיעו למצב S_{31} ולא הגיעו למצב S_{32} . לאחת מהן (nfp8064) היו 5 דיווחים בלבד, עם דיווח חמישי שהיה במצב S_{22} שמוביל ב-100% למצב S_{32} (לאחר מחזור וסת בודד). מכיוון שכך, נבחר שלא לפצל לקבוצה נפרדת את האישה השנייה, שלא ידוע אם הייתה מגיעה למצב S_{32} , משאר הנשים שהגיעו למצבים S_{31} ו- S_{32} .

היו 6 נשים שהגיעו למצב S_{33} ולא הגיעו למצב S_{32} . לאחת מהן (nfp8036) היו 5 דיווחים בלבד, עם דיווח חמישי שהיה במצב S_{12} שמוביל ב-100% למצב S_{32} (לאחר 2 מחזורי וסת). מכיוון שכך, נצרף אותה לנשים שהגיעו למצב S_{32} .

בסופו של דבר, את מבחני השונות נבחר לבצע על הקבוצות הבאות:

1. נשים שהגיעו למצב S_{31} ($N_{S_{31}} = 16$): נשים שהיו בעלות וסת חצי קבוע עם טווח מתחת ל-29.
2. נשים שהגיעו למצב S_{32} ולא למצבי וסת חצי קבוע אחר ($N_{S_{32}} = 58$): נשים שהיו עם וסתות חצי קבועים עם טווח שמשותף לטווח 29 – 31.
3. נשים שהגיעו למצב S_{33} ולמצב S_{32} ($N_{S_{33} \cap S_{32}} = 19$): נשים שקבעו וסת חצי קבוע עם טווח מעל 29.
4. נשים שהגיעו למצב S_{33} ולא למצבי וסת חצי קבוע אחר ($N_{S_{33}} = 5$): נשים שקבעו וסתות חצי קבועים עם טווח מעל 31.

מבחנים סטטיסטיים לשוונות בין קבוצות נשים לפי סוגי וסת חצי קבוע

ההשוואה בין הקבוצות השונות של נשים שקובעות סוגים שונים של וסת חצי קבוע התבצעה במספר שלבים:

1. חישוב סטיית התקן של אורכי מחזורי הווסת עבור כל אישה בנפרד.
2. ביצוע מבחנים סטטיסטיים לבדיקת נורמליות הנתונים.
3. ביצוע מבחן שוונות בין נתוני סטיות התקן.
4. חישוב ממוצעי אורכי מחזורי הווסת עבור כל אישה בנפרד.
5. ביצוע מבחנים סטטיסטיים לבדיקת נורמליות הנתונים.
6. ביצוע מבחן שוונות בין נתוני הממוצעים.
7. ביצוע מבחן שוונות בין נתוני ממוצעי 2 קבוצות בודדות – $S_{33} \cap S_{32}$, S_{33} .

חישובי סטיות התקן והממוצעים התבצעו בעזרת טבלת ציר בתוכנת Excel, המבחנים הסטטיסטיים התבצעו בתוכנת prism. לא יובאו כאן הטבלאות המלאות של נתוני כל הנשים, אבל כן יוצגו ממוצעי הנתונים עבור כל קבוצה:

קבוצה	S_{31}	S_{32}	S_{33}	$S_{33} \cap S_{32}$
מספר נשים (n)	16	58	5	19
ממוצע ממוצעים	27.45	30.22	36.61	33.41
ממוצע סטיות תקן	1.55	2.57	3.58	3.25

בבדיקת הנורמליות של נתוני סטיות התקן נעשה שימוש במבחן $Kolmogorov - Smirnov$ עם $\alpha = 0.05$, התוצאות מוצגות בטבלה הבאה:

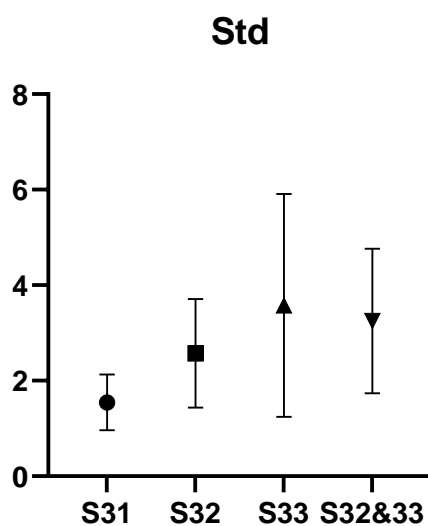
קבוצה	S_{31}	S_{32}	S_{33}	$S_{33} \cap S_{32}$
מרחק מקסימלי מפונקציית ההתפלגות המצטברת הנורמלית	$d_{16} = 0.27$	$d_{58} = 0.10$	$d_5 = 0.18$	$d_{19} = 0.24$
$p - value$	$p = 0.002$ < 0.05	$p > 0.1$	$p > 0.1$	$p = 0.007$ < 0.05
הנתונים עברו את מבחן הנורמליות?	לא	כן	כן	לא

מכיוון שנתוני סטיות התקן של מחצית מהקבוצות לא עברו את מבחן הנורמליות, עבור מבחן השוונות של נתוני סטיות התקן של הקבוצות בוצע מבחן $Kruskal - Wallis$, עם השוואות מרובות ותיקון (Post-hoc) בשיטה של $Dunn$, ועם $\alpha = 0.05$. תוצאת המבחן הציגה שוונות בעלת מובהקות סטטיסטית גבוהה, עם

$p = 0.0002$ מותאם. כלומר יש שוני בין הנתונים.

תוצאות ההשוואות המרובות בטבלה הבאה, ולאחריה גרף שמציג את ממוצעי נתוני סטיות התקן של הקבוצות ומידת הפיזור שלהם:

Adjusted p – value	האם השוני משמעותי?	קבוצות מושוות	
$p = 0.004$	כן	S_{32}	S_{31}
$p = 0.051$	לא	S_{33}	S_{31}
$p = 0.0001$	כן	$S_{33} \cap S_{32}$	S_{31}
$p > 0.999$	לא	S_{33}	S_{32}
$p = 0.38$	לא	$S_{33} \cap S_{32}$	S_{32}
$p > 0.999$	לא	$S_{33} \cap S_{32}$	S_{33}

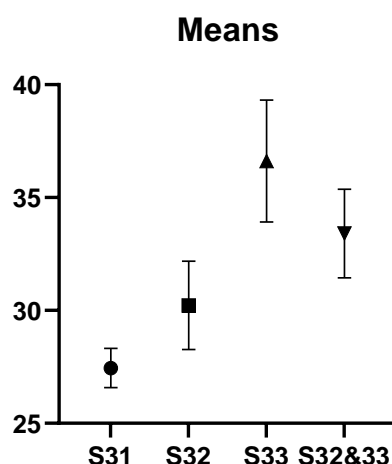


בשלב זה התבצע מבחן נורמליות על נתוני הממוצעים של הקבוצות השונות⁷⁸, בעזרת מבחן *Kolmogorov – Smirnov* עם $\alpha = 0.05$. התוצאות מוצגות בטבלה הבאה:

קבוצה	S_{31}	S_{32}	S_{33}	$S_{33} \cap S_{32}$
מרחק מקסימלי מפונקציית ההתפלגות המצטברת הנורמלית	$d_{16} = 0.13$	$d_{58} = 0.1$	$d_5 = 0.21$	$d_{19} = 0.18$
$p - value$	$p > 0.1$	$p > 0.1$	$p > 0.1$	$p = 0.097 > 0.05$
הנתונים עברו את מבחן הנורמליות?	כן	כן	כן	כן

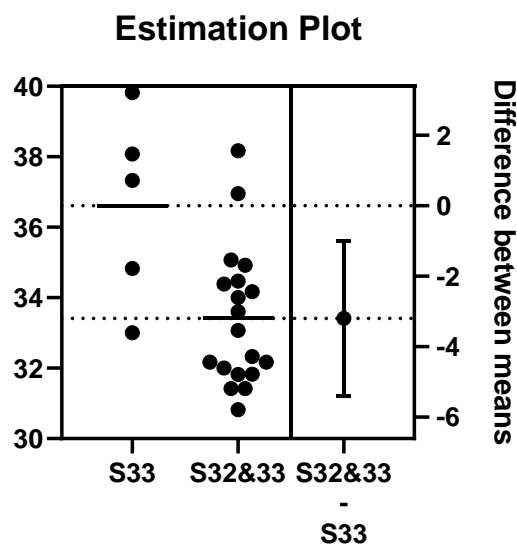
מכיוון שממוצעי הנשים מתפלגים נורמלית, ניתן לבצע מבחן שונות *ANOVA* רגיל, אולם מכיוון שסטיות התקן של חלק מהקבוצות הינן שונות בצורה מובהקת, בוצע מבחן *Brown – Forsythe and Welch* עם השוואות מרובות ותיקון (Post-hoc) בשיטת *T3* של *Dunnett*. תוצאת המבחן מציגה שונות מובהקת מאוד עם ערך $p < 0.0001$. בטבלה הבאה מוצגות ההשוואות המרובות ולאחריה גרף שמציג את ממוצעי נתוני הקבוצות ומידת הפיזור שלהם:

קבוצות מושוות	האם השוני משמעותי?	$Adjusted p - value$
S_{31} S_{32}	כן	$p < 0.0001$
S_{31} S_{33}	כן	$p = 0.007$
S_{31} $S_{33} \cap S_{32}$	כן	$p < 0.0001$
S_{32} S_{33}	כן	$p = 0.03$
S_{32} $S_{33} \cap S_{32}$	כן	$p < 0.0001$
S_{33} $S_{33} \cap S_{32}$	לא	$p = 0.2245$



⁷⁸ בגלל משפט הגבול המרכזי, מצופה שנתוני הממוצעים יעברו את מבחן הנורמליות, אולם מכמה סיבות יש לחשוש שהנתונים אינם מתפלגים נורמלית: לעיתים הדגימה לא אחידה, ולכן לא תתקבל תוצאה של התפלגות נורמלית. כמו כן, ב-3 קבוצות שעליהן מתבצע מבחן הנורמליות יש נתונים של פחות מ-20 נשים, בנוסף לכך שלאחוז גבוה מהנשים (כ-20% מהנשים שלא קבעו וסת הפלגה) היו פחות מ-10 דיווחי מחזורי וסת.

מתוצאות ההשוואות המרובות ניכר שכל הקבוצות שונות בצורה מובהקת זו מזו, מלבד הצמד $S_{33} \cap S_{32}$ ו- S_{33} . מכיוון שהתקבל במבחן השונות של סטיות התקן, שאין הבדל מובהק בין סטיות התקן של 2 קבוצות אלה, בוצע מבחן השוואה פרמטרי תחת הנחת שוויון סטיות תקן, t -test, דו זנבי לתצפיות לא מזווגות. תוצאות המבחן הן $t_{22} = 3.015$, $p = 0.0064$. כלומר יש שוני מובהק בין הקבוצות. להלן מובא גרף שיערוך והפרשים של התצפיות מהממוצעים:



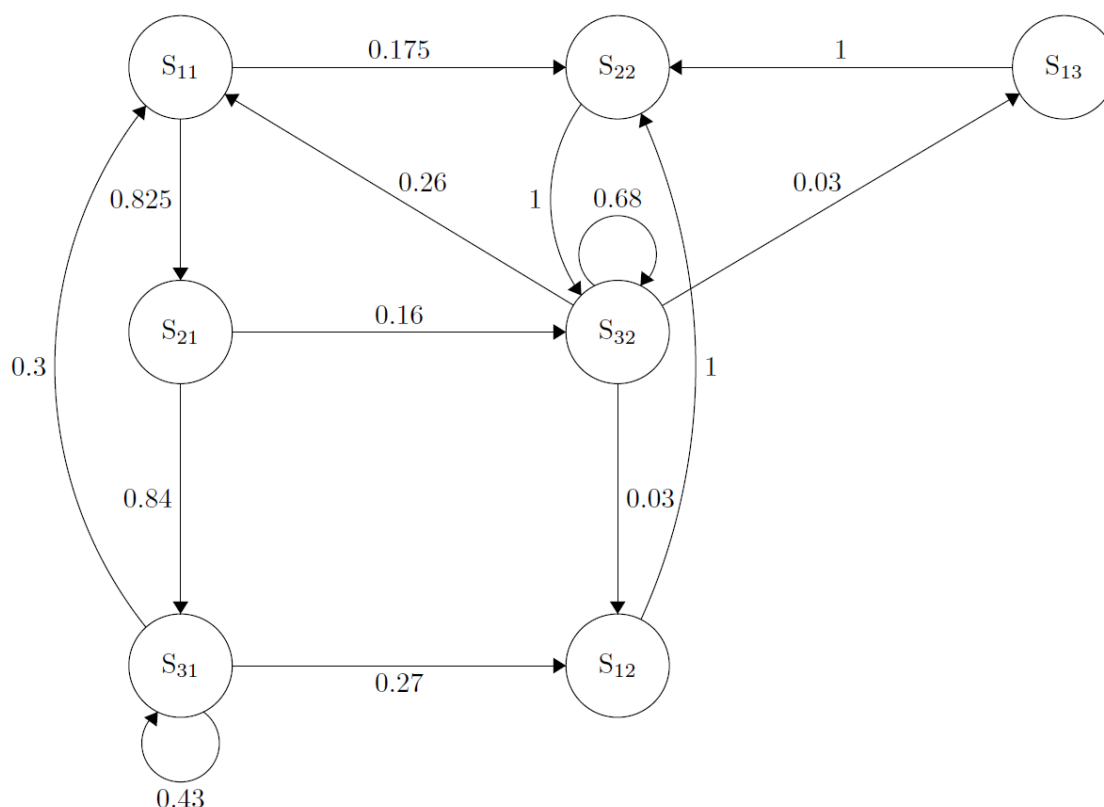
לסיכום, מדדי כל הקבוצות יצאו שונים זה מזה בצורה מובהקת, למרות שבבדיקה ראשונית היה נדמה שאין הבדל מובהק בין S_{33} ל- $S_{32} \cap S_{33}$.

שרשראות מרקוב נפרדות של סוגי וסת חצי קבוע

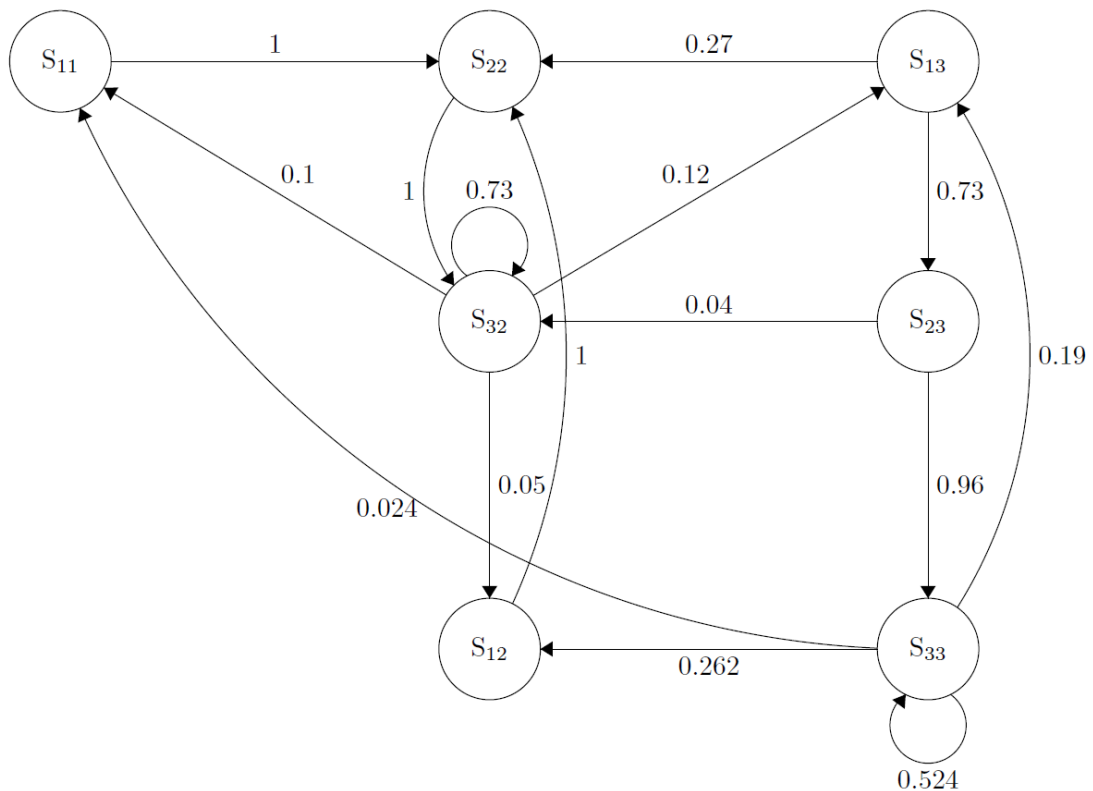
מהניתוח הסטטיסטי התברר שכל הקבוצות שונות בצורה מובהקת. לכן, הפיצול של נשים שהגיעו גם למצב S_{32} מנשים שהגיעו רק למצב S_{33} הינו מוצדק, ולכן גם הפיצול של נשים שהגיעו רק למצב S_{32} מוצדק. מסיבות אלו, בפיצול השרשרת המקורית ל-2 תתי מערכות, נבחר לחשב את הסתברויות המעברים מחדש. עבור תת מערכת אחת נבחר את הנשים שהגיעו למצב S_{31} ($N_{S_{31}} = 16$), ועבור תת המערכת השנייה נבחר את הנשים שהגיעו לשני המצבים S_{32}, S_{33} ($N_{S_{33} \cap S_{32}} = 19$).

בנספחים מופיעות טבלאות שמפרטות שכיחויות והסתברויות מעבר של שתי תתי המערכות. להלן מופיעים תרשימי המצבים של תתי המערכות, עם הסתברויות מעבר מתאימות בין המצבים. בכל תרשים הוסר מצב הווסת החצי קבוע שאינו רלוונטי עבור אותה תת מערכת. תחילה מופיע התרשים עבור הנשים שהגיעו למצב S_{31} ולאחריו מופיע התרשים עבור הנשים שהגיעו למצב S_{33} .

שרשרת מרקוב עבור נשים שקובעות וסת חצי קבוע מסוג S_{31} :



שרשרת מרקוב עבור נשים שקובעות וסת חצי קבוע מסוג S_{33} :



כעת נחשב את התפלגויות המצבים היציבים עבור שתי תתי המערכות. מטריצת המעברים של תת

המערכת עבור מצב S_{31} , כאשר המצבים מסודרים לפי הסדר $S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{21}, S_{22}, S_{31}, S_{32}$ היא

$$P_{S_{31}} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.825 & 0.175 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.84 & 0.16 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.3 & 0.27 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.43 \\ 0.26 & 0.03 & 0.03 & 0 & 0 & 0 & 0.68 \end{pmatrix}$$

וקטור התפלגות המצב היציב של תת מערכת זו הוא

$$\overrightarrow{\pi_{S_{31}}} = (0.154 \quad 0.043 \quad 0.014 \quad 0.127 \quad 0.084 \quad 0.107 \quad 0.47)$$

מהרכיב השישי של הווקטור, $[\overrightarrow{\pi_{S_{31}}}]_6 = 0.107$, נסיק ש-10.7% ממחזורי הווסת של נשים מהסוג

הזה יהיו במצב וסת חצי קבוע, שבו אין צורך לחשוש לעונה הבינונית ולעונת החודש.

בטבלה הבאה מותאמים למצבי המערכת השכיחויות של ההימצאות במצבים, השכיחות היחסית ביחס לכלל מחזורי הווסת ורכיבי התפלגות המצב היציב:

מצב	S33	S32	S31	S23	S22	S21	S13	S12	S11	סכום
שכיחות	0	75	46	0	26	33	4	16	43	243
שכיחות יחסית	0.0%	30.9%	18.9%	0.0%	10.7%	13.6%	1.6%	6.6%	17.7%	100%
רכיב התפלגות המצב היציב	0.0%	47.0%	10.7%	0.0%	8.4%	12.7%	1.4%	4.3%	15.4%	100%

כעת נציג תהליך דומה עבור תת המערכת השנייה. מטריצת המעברים של תת המערכת עבור מצבים S_{33} ו- S_{32} , כאשר המצבים מסודרים לפי הסדר $S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{22}, S_{23}, S_{32}, S_{33}$ היא:

$$P_{S_{33} \cap S_{32}} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.27 & 0.73 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.04 & 0.96 \\ 0.1 & 0.05 & 0.12 & 0 & 0 & 0.73 & 0 \\ 0.024 & 0.262 & 0.19 & 0 & 0 & 0 & 0.524 \end{pmatrix}$$

וקטור התפלגות המצב היציב של תת מערכת זו הוא:

$$\overrightarrow{\pi_{S_{33} \cap S_{32}}} = (0.052 \quad 0.057 \quad 0.083 \quad 0.131 \quad 0.06 \quad 0.495 \quad 0.122)$$

מהרכיב השביעי של הווקטור, $[\overrightarrow{\pi_{S_{33} \cap S_{32}}}]_7$, נסיק ש-12.2% ממחזורי הווסת של נשים מהסוג הזה, יהיו במצב וסת חצי קבוע, שבו אין צורך לחשוש לעונה הבינונית ולעונת החודש. בטבלה הבאה מותאמים למצבי המערכת השכיחויות של ההימצאות במצבים, השכיחות היחסית ביחס לכלל מחזורי הווסת ורכיבי התפלגות המצב היציב:

מצב	S33	S32	S31	S23	S22	S21	S13	S12	S11	סכום
שכיחות	45	94	0	24	34	0	34	18	9	258
שכיחות יחסית	17.4%	36.4%	0.0%	9.3%	13.2%	0.0%	13.2%	7.0%	3.5%	100%
רכיב התפלגות המצב היציב	12.2%	49.5%	0.0%	6.0%	13.1%	0.0%	8.3%	5.7%	5.2%	100%

בפרק זה הוצגו מערכות מצבים מרקוביות שמתארות את המצבים ההלכתיים של וסת חצי קבוע. בבניית המערכות נעשתה התחשבות במספר הלכות מהלכות פרישה סמוך לווסת ומהלכות וסתות. למרות הניסיון לבנות מערכות שמתחשבות בהלכות מרובות, חשוב לציין שבמסגרת מחקר זה, לא התאפשר להתחשב בכל ההלכות הרלוונטיות העשויות להשפיע על המודל (לדוגמה, המחלוקת לגבי אורך תהליך קביעת וסת חצי קבוע). מפני שהתחשבנו בגורמים המרכזיים, להערכתנו, בהתמקדות על השפעת הפרמטר של אורך מחזור הווסת, ללא התחשבות בגורמים כמו הריון ולידה, פעילויות גופניות, תזונה, מצבי לחץ וכדומה ומבלי לכלול את הנשים שקובעות וסת הפלגה, המערכת שנבנתה מייצגת בצורה טובה את גישת חז"ל להסברת וסת חצי קבוע, בהתאמה להנחת חוסר מודעות לשאר סוגי קביעות וסת.

בעזרת חלוקה לקבוצות של סוגי וסת חצי קבוע שונים, אוכלוסיית הנשים במאגר הנתונים חולקה לפי קטגוריות, והוצג בעזרת מבחנים סטטיסטיים שקיימים הבדלים מובהקים בין הקבוצות השונות.

בעזרת מציאת התפלגויות המצבים היציבים של המערכות, נמצאו ביטויים מפורשים עבור היחסים בין מספרי מחזורי הווסת שבהם אישה צפויה להיות בעלת וסת חצי קבוע, שאין בו צורך לחשוש לעונה הבינונית ועונת החודש, לבין מספר מחזורי הווסת שבהם אישה צפויה להידרש לפרישה סמוך לווסת בעונה הבינונית ובעונת החודש.

בהסתכלות כוללת, אחוז המצבים ההלכתיים ללא צורך בפרישה סמוך לווסת בעונה הבינונית ובעונת החודש יצא 9%. בהתמקדות בנשים שקובעות וסת חצי קבוע עם טווח אורכי מחזורי וסת מתחת ל-29 יום, אחוז המצבים ההלכתיים ללא צורך בפרישה סמוך לווסת בעונה הבינונית ובעונת החודש יצא 10.7%. בהתמקדות בנשים שקובעות וסת חצי קבוע עם טווח אורכי מחזורי וסת מעל ל-31 יום וגם וסת חצי קבוע עם טווח אורכי מחזורי וסת שכולל חיתוך עם הטווח של 29 – 31 יום, אחוז המצבים ההלכתיים ללא צורך בפרישה סמוך לווסת בעונה הבינונית ובעונת החודש יצא 12.2%.

בעזרת מחקר זה ניתן להבין טוב יותר את המציאות ההלכתית הנפוצה באוכלוסייה בפועל. ניתן יהיה להשתמש ולהמשיך לפתח את הטכניקות שהוצגו במחקר זה, לצורך מידול ובחינות סטטיסטיות נוספות ורחבות יותר בעתיד, בין אם יהיה רצון לתאר יותר מצבים הלכתיים ובין אם יתקבלו נתונים חדשים על מחזורי וסת.

הסקת מסקנות

שימוש בסקרים אינטרנטיים למחקר מדעי על מחזור הווסת

השימוש בסקרים אינטרנטיים לצרכים מחקריים נפוץ ומקובל בשנים האחרונות. בהקשר של אורך מחזור הווסת, התקבל שתגובות על השאלה "מה היו אורכי מחזור הווסת בדרך כלל" הובילו לנתונים שאינם מהימנים. האבחנה נעשתה בעזרת גרף שמציג שתי פסגות במקום עקומת פעמון עם זנב ימני.

בהתמקדות על תגובות שהתקבלו משאלות על מחזור הווסת בהקשר הלכתי, אובחן שמספר הנשים שדיווחו על קביעת וסת ההפלה נמוך מהמצופה, לפי דיווחי הנשים על ההיכרות שלהן את המושג שנקרא וסת ההפלה, ולפי הדיווחים שלהן על כך שמחזור הווסת שלהן היה בדרך כלל בעל אורך זהה.

הוצגו מערכות מצבים שבעזרתן ניתן לתקף את הנתונים המתקבלים על דיווחים הקשורים לווסת ההפלה. בוצע תיקוף נתונים על 79 תגובות מנשים שדיווחו על הפרשים זהים בין וסתות בדרך כלל: לפי הניתוח ההסתברותי, הצפי לדיווחי נשים על קביעת וסת הפלה הוא כ-68 נשים. הנתון שהתקבל הוא 14 נשים שקבעו את וסת ההפלה. הפער הגדול עשוי לתאר מילוי חסר תשומת לב לשאלון, בעיות אמינות בדיווחים על אורכי מחזורי וסת זהים בדרך כלל ובדיווחים על הכרת וסת ההפלה.

מתוצאות אלו מתקבל ששימוש בסקרים אינטרנטיים לצורך מחקר הנוגע למחזור הווסת בכלל ובהקשר הלכתי בפרט, צריך להיות זהיר ובעל תיקוף נתונים קפדני.

שכיחויות קביעות וסת מתארות תופעה או מקריות?

מתוך 118 הנשים המדווחות במאגר, 83 (כ-70%) קבעו לפחות וסת מסוג אחד. נשים אלו קבעו בממוצע 1.63 סוגי וסתות (סטיית תקן 0.93). בסך הכול היו 166 קביעות וסת, כ-1.41 פעמים בממוצע לאישה ביחס למאגר כולו, או 2 פעמים בממוצע לאישה ביחס לנשים שקבעו וסת כלשהו. הטבלה הבאה מפרטת את סוגי הווסתות, את מספר הנשים שקבעו כל אחד מהסוגים, את מספר קביעות הווסת, ממוצע מספר מחזורי הווסת לאחר קביעת הווסת (לא כולל מחזור הווסת שקבע את הווסת) עד לעקירת הווסת או עד לסיום הדיווח מצד האישה.

סוג וסת	שכיחות אצל נשים	שכיחות יחסית לכלל הנשים	מספר קביעות הווסת	ממוצע מספר מחזורי וסת עד עקירה	ממוצע מספר מחזורי וסת עד סיום דיווח
הפלה	20	17%	31	4.72	2.23
דילוג	48	41%	58	3.92	1.57
שבוע	26	22%	32	3.24	1.2
שבוע בדילוג	18	15%	18	3.75	2
דילוג בתוך דילוג	23	19%	27	3.38	1.73

מהנתונים מתברר שהתופעות של הווסתות הקבועים הינן שכיחות, אולם ברוב המקרים הקביעות אינה נשמרת לאורך זמן.

בבחינת השערת אקראיות הנתונים שהתקבלו במאגר, נדחתה השערת האפס עם רמת מובהקות גבוהה ונקבע שהנתונים אינם נובעים מאקראיות. בבחינה ממוקדת של תוצאות הסימולציה, כשמשווים את וקטור הרצפים וקביעות הווסת \vec{v} עם וקטור ממוצעי הסימולציה \vec{v}_m , מתקבלת התמונה שכל שכיחויות קביעות הווסת בפועל (ברכיבי הווקטור \vec{v}) מופיעות במידה גבוהה מהממוצע:

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} 26 \\ 61 \\ 32 \\ 18 \\ 27 \end{pmatrix}, \quad \vec{v}_m = \begin{pmatrix} 11.63 \\ 49.27 \\ 27.89 \\ 14.74 \\ 26.6 \end{pmatrix}$$

אם נתבונן על וקטור \vec{v}_p שיתאר את היחס באחוזים בין רכיבי הווקטור \vec{v} לרכיבי הווקטור \vec{v}_m , נקבל

$$\vec{v}_p = \begin{pmatrix} 223.6\% \\ 123.8\% \\ 114.7\% \\ 122.1\% \\ 101.5\% \end{pmatrix}$$

וסת דילוג בתוך דילוג מופיע במאגר במידה שמצופה גם על ידי הגרלה אקראית. השכיחויות של וסת הדילוג, וסת השבוע ושל וסת השבוע בדילוג גדולות מהמצופה, השכיחות של וסת ההפלגה גדולה מאוד מהמצופה.

מנתונים אלו נראה שהתופעות המתוארות בספרות ההלכה הינן תקפות גם כיום, ומומלץ להוסיף לחקור אותן.

הלכות וסתות ככלי לחיזוי וסת

כ-41% מזוגות מחזורי וסת עוקבים, מגיעים בהפרש של לכל היותר יום בודד זה מזה, וכ-61% ממחזורי הווסת העוקבים, מגיעים בהפרש של לכל היותר 2 ימים. מסיבות אלה, פרישה סמוך לווסת בעונת ההפלגה נראית מוצדקת.

עונת יום החודש מקבלת גם היא חיזוק, מפני שמחזור וסת באורך 29 ימים (שמתאים לחודש חסר) הוא אורך מחזור הווסת השכיח ביותר, עם שכיחות יחסית של 14%, ומפני שמחזור וסת באורך 30 ימים (שמתאים לחודש מלא) בעל שכיחות יחסית של 11%. יוצא אם כן, שכ-1 מכל 4 מחזורי וסת הם בעלי אורך של 29 או 30 יום⁷⁹.

⁷⁹ הכוונה היא שמתוך כלל מחזורי הווסת, כרבע מהם באורך של 29 או 30 ימים. אין כאן כוונה שלאישה מסוימת יש הסתברות של 25% שמחזור הווסת הבא שלה יהיה באורך של 29 או 30 ימים.

ממוצע אורכי מחזורי הווסת במאגר, בספירת "עד ועד בכלל", הוא 30.27. אם מעגלים את התוצאה, מקבלים שהעונה הממוצעת ('בינונית') היא מחזור וסת באורך 30 יום. בדיוק 50% ממחזורי הווסת במאגר היו באורך של עד 29 יום (כולל), ו- 61% ממחזורי הווסת במאגר היו באורך של עד 30 יום. נתונים אלו מצדיקים את הפרישה סמוך לווסת בעונה הבינונית גם כיום, לפי פירושם של הרמב"ן והר"ן. לעומת זאת, ההסבר לעונה הבינונית על פי הרשב"א תואם פחות את הנתונים, מכיוון שנמצאו 3 אורכי מחזורי וסת בעלי שכיחות גבוהה יותר של רצפי הפלגות זהות (המעידים על וסת הפלגה קבוע).

למסקנה, ממאגר הנתונים נראה שעונות הפרישה סמוך לווסת תואמות את המציאות גם בימינו. עם זאת, כדאי להמשיך ולבדוק זאת בבחינת מאגרי נתונים נוספים, בעלי פירוט של תאריכי וזמני וסתות.

לאחר הצלבת הנתונים עבור זמני קביעות הווסת מכל הסוגים וזמני וסת לא קבוע, נעשתה השוואה בין מספר גישות חיזוי:

1. הלכות וסתות כולל כל סוגי קביעות וסת.
 2. עונות פרישה סמוך לווסת לא קבוע בלבד (הפלגה, בינונית וחודש), מבלי להחשיב קביעות וסת.
 3. שלושת אורכי מחזורי הווסת השכיחים ביותר: 27, 28, 29.
 4. שלושת אורכי מחזורי הווסת שכמעט שכיחים ביותר, עם החלפה של אורך מחזור וסת של 27 יום ב-30 (העונה הבינונית): 28, 29, 30.
 5. וסת ההפלגה כווסת קבוע יחיד ועונות פרישה סמוך לווסת (בסטיות מהקביעות ובווסת לא קבוע).
- עבור אורך מחזור וסת של 29 ימים, נעשה סינון על בסיס חפיפה לשאר עונות הפרישה סמוך לווסת, לאחר מכן הוכפלו ב- $\frac{1}{2}$ מספר החיזויים המוצלחים ומספר עונות הפרישה סמוך לווסת שקדמו להגעת הווסת. הכפלה זו נעשתה בכדי להתמודד עם חוסר המידע על תאריכי חודשים מלאים וחסרים. סיכום השוואת החיזויים מובא בטבלה הבאה:

גישת חיזוי	חיזויים מוצלחים	אחוזי הצלחה בחיזוי וסת	מספר פרישות סמוך לווסת שקדמו להגעת הווסת	יחס פרישות "מיותרות" על דיוקים
קביעות וסת	426	29.67%	1432.5	3.363
3 עונות פרישה סמוך לווסת בלבד	421.5	29.35%	1407.5	3.339
אורכי מחזורי וסת 28,29,30	554	38.58%	2173	3.922
אורכי מחזורי וסת 27,28,29	560	39.00%	2727	4.870
וסת הפלגה ו-3 עונות פרישה	424.5	29.56%	1409	3.319

אם נדרג את גישות החיזוי מ-1 עד 5, כך שמספר דירוג נמוך נחשב לטוב יותר, נקבל את הטבלה הבאה :

גישת חיזוי	דירוג אחוזי הצלחת חיזוי וסת	דירוג יחס פרישות "מיותרות" על דיוקים
קביעות וסת	3	3
3 עונות פרישה סמוך לווסת בלבד	5	2
אורכי מחזורי וסת 28,29,30	2	4
אורכי מחזורי וסת 27,28,29	1	5
וסת הפלגה ו-3 עונות פרישה	4	1

בתמונה הכוללת רואים, שלמרות שאחוזי הצלחת חיזויי וסת של הגישות ההלכתיות, נמוכים מאלו של גישות החיזויים הנאיביים, הגישות ההלכתיות מוצלחות בצורה משמעותית בהקשר של יחס פרישות "מיותרות" לדיוקים. בהתמקדות על 3 הגישות שמשלבות את הפסיקה ההלכתית, נקבל את הטבלה הבאה :

גישת חיזוי	דירוג חיזוי וסת	אחוזי הצלחה בחיזוי וסת	דירוג יחס פרישות "מיותרות" לדיוקים	יחס פרישות "מיותרות" על דיוקים
קביעות וסת	1	29.67%	3	3.363
3 עונות פרישה סמוך לווסת בלבד	3	29.35%	2	3.339
וסת הפלגה ו-3 עונות פרישה	2	29.56%	1	3.319

תוצאה מעניינת במיוחד היא שחוסר מודעות לקביעות וסת, מלבד לווסת ההפלגה, מובילה ליחס הטוב והנמוך ביותר בין ימי הפרישה סמוך לווסת שקדמו לווסת, לבין ימי הפרישה סמוך לווסת שתאמו את הגעת הווסת.

תוצאות שלושת גישות אלו קרובות מאוד. ניתן להסביר את ההעדפה של כללי קביעות הווסת בעזרת שלושה טיעונים עיקריים :

1. הדינמיות שנוצרת מהתאמה של החיזוי לכל סיטואציה שונה מוסיף להתאמה האישית לכל אישה.
2. הלכות וסתות כוללות גם סוגי קביעות וסת גוף ותאריכים, שלא יכלו לקבל התייחסות במחקר זה. התחשבות בכללים אלה הייתה עשויה לשפר את תוצאות החיזויים.
3. שקלול וסת חצי קבוע משפר את היחס בין הפרישות ה"מיותרות" לדיוקים.

בהתמקדות על הטיעון השלישי, כדי לקבל קנה מידה על שיפור היחס, נשלב את הנתונים מפרק ד' על חיזוי וסת יחד עם הנתונים שהתבררו בפרק ח' על וסת חצי קבוע. נעשה זאת ללא תיאור שרשרת מרקוב שמתארת את כל הלכות וסתות כמקשה אחת, ולכן לא נקבל תוצאה מדויקת לחלוטין. במחקר עתידי, יתאים לעשות זאת לאחר שתיבנה שרשרת מרקוב לכלל הלכות וסתות יחד.

בטבלה הבאה מפורטים המקרים עבורם אישה הייתה בווסת חצי קבוע שבו אין צורך בפרישה סמוך לווסת בעונה הבינונית וביום החודש (בהתאמה לסימונים מפרק ח'), כאשר חלוקת המקרים מותאמת לאורך מחזור הווסת שהגיע בזמן המצב ההלכתי.

סכום	S33	S31	אורך מחזור וסת/מצב
10	4	6	29
9	3	6	30
34	1	33	<29
62	61	1	>30
115	69	46	סכום

9 המקרים שבהם היה אורך מחזור וסת של 30 יום (בספירת "עד ועד בכלל") הם חיזויי וסת מדויקים שנמנעו בגלל הווסת החצי קבוע. משוער שכמחצית מ-10 המקרים שבהם הגיע אורך מחזור וסת של 29 יום, הגיעו בחודש חסר, ולכן נמנעו כ-5 חיזויים מדויקים בגלל וסת חצי קבוע. עבור מקרים בהם אורכי מחזורי הווסת החצי קבוע היו קטנים מ-29 ימים, לא היו פרישות "מיותרות" סמוך לווסת. עבור מקרים בהם אורכי מחזורי הווסת החצי קבוע היו גדולים מ-30, נמנעה בוודאות פרישה סמוך לווסת "מיותרת" בעונה הבינונית ובכמחצית מהמקרים נמנעה גם פרישה סמוך לווסת "מיותרת" גם עבור עונת החודש. בסך הכול כ- $93 = 62 \cdot 1.5$ פרישות "מיותרות" שנמנעו בזכות וסת חצי קבוע.

מנתונים אלה מתקבלת התמונה שווסת חצי קבוע מונע כ- $6.64 \approx \frac{93}{9+5}$ פרישות "מיותרות" על כל "פספוס" של חיזוי מדויק. תוצאה שמציגה מעלה נוספת שיש באיכות החיזוי שהוצע בהלכות וסתות.

ביחס לחיזוי שמשמש באמצעים מתמטיים מתקדמים, בעל מדד $MSE = 15.5$, החיזויים של הלכות וסתות (ללא התחשבות בווסת חצי קבוע), מציגים נתון מרשים של $7.69 \leq MSE \leq 8.31$. אמנם יש לציין את ההבדל המהותי בין החיזויים: החיזוי המדעי משתמש ביום אחד בלבד לחיזוי, לעומת החיזוי ההלכתי משתמש במספר תאריכים במקביל (מלבד במצבי וסת קבוע בודד ללא סטייה).

מתוצאות אלו נראה שהחיזוי שנמצא בהלכות וסתות מקבל חיזוק מנתוני זמנינו, ומרשים להבחין בכך שחכמי היהדות הצליחו לפתח אסטרטגיית חיזוי שיעילה עד לימינו.

משמעותיות וסת ההפלגה

החשיבות שניתנת במקורות ההלכתיים לווסת ההפלגה נראית כמוצדקת מהנתונים שנמצאו במאגר, בזכות מספר סיבות:

1. קביעות הווסת נשמרת לאורך זמן גדול יותר משאר סוגי קביעות וסת.
2. זוהי התופעה שחורגת בהיקפה במידה הגבוהה ביותר מכל סוגי קביעות הווסת.
3. החיזוי של וסת ההפלגה מספק את אחוזי הצלחת החיזוי ואת מדדי החיזוי $MSE, RMSE$ הטובים ביותר.

את הייחודיות שבאה לידי ביטוי באורך משך קביעות הווסת ניתן לראות בטבלה הבאה, בה מפורטים הממוצעים של אורכי משך קביעות הווסתות. כלומר הממוצעים שמחושבים על פי מספר מחזורי הווסת מקביעת הווסת (לא כולל) ועד לעקירתו (במידה ולא הסתיים הדיווח מצד האישה במצב של וסת קבוע):

סוג וסת	ממוצע משך קביעות עד עקירה
הפלגה	4.72
דילוג	3.92
שבוע	3.24
שבוע בדילוג	3.75
דילוג בתוך דילוג	3.38

מהשרשרת שנבנתה והוצגה בפרק ז', הוסקה המסקנה שמובן מדוע, לפי חז"ל, אישה שקבעה וסת הפלגה תמשיך להיות במצב של הפלגה קבוע. נתוני המאגר חיזקו את הטענה הזו עם הנתון שמתוך 167 מחזורי וסת שהגיעו לאחר קביעת וסת הפלגה לראשונה, 127 מחזורי וסת (כ-76%) היו במצב הלכתי של וסת הפלגה קבוע, ו-40 דיווחים (כ-24%) ללא וסת הפלגה קבוע. היחס יוצא שעל כל מצב שבו הווסת אינו קבוע, יש 3.175 מצבים של וסת קבוע.

את חריגות התופעה של וסת ההפלגה למדנו בפרק ג'. בטבלה הבאה מתווספים לטבלה מפרק ג' המרחקים של נתוני המאגר, עבור כל סוג וסת, מרכיב וקטור הממוצעים המתאים, ביחס ליחידות סטיות התקן שהתקבלו עבור כל סוג קביעת וסת. בנוסף, גם את היחסים בין נתוני המאגר לממוצעים (רכיבי הווקטור \vec{v}_p מפרק ג').

הפלגה	דילוג	שבוע	שבוע בדילוג	דילוג בתוך דילוג	
מקסימום	23	65	43	27	38
מינימום	4	28	14	7	15
ממוצע	11.63	49.27	27.89	14.74	26.6
סטיית תקן	3.33	6.76	4.97	3.99	5.05
נתוני המאגר	26	61	32	18	27
מרחק מהממוצע ביחידות של סטיות תקן	4.32	1.74	0.83	0.82	0.08
יחס נתוני מאגר לממוצעים	223.6%	123.8%	114.8%	122.1%	101.5%

וסת ההפלגה הוא סוג קביעת הווסת היחיד שעבורו נתוני המאגר היו גדולים מהערך המקסימלי שהתקבל בסימולציה. מבין המרחקים של נתוני המאגר מהמוצעים לפי יחידות של סטיות תקן, וסת ההפלגה בולט במיוחד. כמו כן, גם ביחס שבין נתוני המאגר לבין ממוצעי רצפי קביעות הווסת שהתקבלו בהגרלות, היחס עבור וסת ההפלגה הוא הגבוה ביותר.

כדי להדגיש את איכות החיזוי של וסת ההפלגה, נתבונן בשתי טבלאות. בטבלה הבאה מופיעים נתוני החיזויים עבור כל סוגי קביעות הווסת, כאשר עבור כל סוג וסת מפורטים מספר החיזויים הכולל, מספר החיזויים המוצלחים שנבעו מקביעות הווסת, מספר החיזויים הכולל, עם התחשבות בסטייה מקביעות וסתות⁸⁰, עם ובלי אורך מחזור וסת באורך 29 יום. לאחר נתונים אלה מוצגים אחוזי הצלחת החיזוי, והערכת אחוזי הצלחת החיזוי – בעזרת הערכה שמחצית החיזויים הנכונים של אורך מחזור וסת של 29 יום הגיעו בחודש חסר.

סוג וסת	הפלגה	דילוג	שבוע	שבוע בדילוג	דילוג בתוך דילוג
כלל חיזויים	114	178	75	57	74
חיזוי וסת קבוע מדויקים	35	26	11	10	7
חיזויים מדויקים לא כולל 29	46	50	17	15	13
חיזויים מדויקים כולל 29	51	61	23	17	17
אחוזי הצלחה לא כולל 29	40.4%	28.1%	22.7%	26.3%	17.6%
אחוזי הצלחה כולל 29	44.7%	34.3%	30.7%	29.8%	23.0%
אחוזי הצלחה משוערים	42.5%	31.2%	26.7%	28.1%	20.3%

⁸⁰ מכיוון שחישובים אלה נעשו לאחר הצלבת הנתונים, התוצאות שמתקבלות שונות מהתוצאות שהוצגו בפרק ג'. לדוגמה: כאשר נקבע וסת מסוג שני במצב של סטייה מסוג וסת ראשון, מצב זה לא נחשב לסטייה מווסת קבוע, ולכן לא חושבו עבורו חיזויי עונות פרישה סמוך לווסת של סטייה מקביעות וסת.

בטבלה הבאה מוצגים המדדים עבור חיזויים לפי חלוקה לסוג קביעות וסת :

סוג וסת	הפלגה	דילוג שבוע	שבוע בדילוג	דילוג בתוך דילוג	סטייה מווסת – קבוע – כולל 29	לא קבוע – כולל 29	סטייה מווסת – קבוע – לא כולל 29	לא קבוע – לא כולל 29
MSE	3.99	10.3	34.93	36.98	42.72	4.87	7.75	5.69
RMSE	2.00	3.21	5.91	6.08	6.54	2.21	2.78	2.38
								8.5
								2.92

משתי טבלאות אלו, ברורה העליונות של איכות חיזוי וסת בזמני וסת ההפלגה.

הגברת מודעות להלכות וסתות

מלבד וסת ההפלגה שחשיבותו הובהרה, יש לבחון את המשמעותיות שיש לשאר סוגי קביעות הווסת. בהקשר של חיזוי וסת, מתברר מהטבלאות לעיל, שקביעות הווסת היחידה (מלבד וסת ההפלגה) שמשפרת את אחוזי הצלחת חיזוי הווסת היא קביעות וסת הדילוג. כמו כן, מידת המרחק של נתוני המאגר על קביעת וסת הדילוג מממוצעי ההגרלות ביחידות של סטיות תקן יצאה גדולה משמעותית משאר קביעות הווסת (מלבד וסת ההפלגה). נראה, שלגבי סוגי קביעות וסת, יש חשיבות בהגברת המודעות לווסת ההפלגה ולווסת הדילוג.

בנוסף לשני סוגי קביעות וסתות אלה, מסיכום תוצאות פרק ח' על וסת חצי קבוע, מתברר שמודעות לווסת חצי קבוע עשויה להפחית אצל כ-36% מהנשים שאינן קובעות וסת הפלגה, ביותר מ-10% את מספר ימי הפרישה סמוך לווסת, ולשפר את היחס בין ימי פרישה "מיותרים" לבין חיזויים מדויקים.

תלות ושונות של סוגי קביעות וסת

בפרק ה' הוצגו מבחנים סטטיסטיים לבדיקת תלות בין חלוקת נשים לפי סוגי קביעות וסת, ומבחי שונות בין סטיות תקן, עבור נשים שקבעו וסת דילוג בתוך דילוג. ממבחי התלות מתקבלת התמונה שקיימת תלות בין קביעת וסת הפלגה וקביעת וסת דילוג בתוך דילוג, שמובילה לכך ש-2 סוגי הווסתות ייקבעו אצל אותה אישה בשכיחות גבוהה מהמצופה. כמו כן, רואים שקיימת תלות בין קביעת וסת דילוג לקביעת וסת שבוע בדילוג, שמובילה לכך ש-2 סוגי הווסתות ייקבעו אצל אותה אישה בשכיחות נמוכה מהמצופה.

מלבד אבחנה זו בתלות שקיימת בין סוגי קביעות הווסת האלו, מתקבלת התמונה שאין תלות בין שאר סוגי קביעות וסת, כאשר ברוב ההשוואות תוצאת אי התלות מובהקת ביותר.

בפרק ו' הוצגו מבחי שונות עבור סוגי קביעות הווסת השונים. ממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים שאינן קובעות וסת שונים בצורה מובהקת מממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים שקובעות וסת. תוצאה זו מובהקת עבור ההשוואות עם קביעת וסת ההפלגה וקביעת וסת שבוע בדילוג, אך אינה מובהקת עבור ההשוואות עם קביעת וסת דילוג, שבוע ודילוג בתוך דילוג.

תופעה דומה התקבלה עבור סטיות התקן של אורכי מחזורי הווסת. תופעות אלו עשויות להיות מוסברות בכך שנשים שאינן קובעות וסת הן בעלות סדירות נמוכה יותר, ובעלות פיזור גדול יותר של אורכי מחזורי וסת. גורמים אלו מונעים מהן לקבוע וסת, ומגדילים את ממוצעי אורכי מחזורי הווסת שלהן.

לעומת זאת, התקבל שאין שונות מובהקת בין ממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים לפי סוגי קביעות הווסת השונים. תוצאה זו עולה בקנה אחד עם אי התלות שהתקבלה עבור רוב זוגות סוגי קביעות הווסת.

במבחני השונות בין אורכי מחזורי הווסת שמסווגים לפי סוג קביעות הווסת, התקבל שקיים הבדל מובהק מאוד בין מחזורי וסת במצב של וסת לא קבוע לבין מחזורי וסת במצב של וסת הפלגה, ובין מחזורי וסת במצב של וסת לא קבוע למחזורי וסת במצב של וסת דילוג. ההבדלים בין מחזורי וסת של וסת שבוע בדילוג למחזורי וסת של וסתות ההפלגה והדילוג, אינם שונים במידה מספיק מובהקת על מנת לעבור את מבחן השונות. שאר ההשוואות בין סוגי מחזורי הווסת השונים הובילו לתוצאה מובהקת שאין שונות ביניהם.

להערכת, לאחר ביצוע שני סוגי מבחני שונות אלו, החלוקה המהותית יותר היא בין נשים, ולא בין סוגי מחזורי וסת. כלומר, בבחינת התופעות של סוגי הווסתות השונים, נכון יותר לפצל את הנתונים לפי נשים תחילה.

תיאור מצבים הלכתיים באמצעות שרשראות מרקוב

בפרק ז' הוצגה מערכת מצבים של שרשרת מרקוב המתארת את המצבים ההלכתיים שקשורים לווסת ההפלגה. בעזרת מציאת התפלגות המצב היציב של המערכת, הוצג ביטוי מפורש ליחס בין מספר מחזורי הווסת בהם אישה צפויה להיות בעלת וסת קבוע, לבין מספר מחזורי הווסת בהם אישה צפויה להיות בעלת וסת לא קבוע.

בוצעה בחינה של מידת ההשפעה של הפרמטרים המסמלים את ההסתברויות למעברים בין מצבי המערכת על התפלגות המצב היציב. מבדיקה זו מתברר שמידת ההשפעה של הסיכויים להישאר במצב של וסת קבוע, גדולה ממידת ההשפעה של הסיכויים להישאר במצב של וסת לא קבוע.

לצורך המחשת תוצאות התפלגות המצב היציב, בוצעה הצבת נתונים שמכמתת את ההלכות שקשורות לווסת ההפלגה ומתאימה אותן להסתברויות בצורה מחמירה. התוצאה שהתקבלה היא שבמרבית הזמן צפויה אישה, שקבעה בעבר וסת הפלגה, להיות בעלת וסת הפלגה קבוע ביחס מחזורי וסת של 6:7. תוצאות אלו קיבלו אישור ממאגר הנתונים, כיוון שהתקבל יחס של כ-1:3.175.

בפרק ח' הוצגו שרשראות מרקוב שמתארות את המצבים ההלכתיים של וסת חצי קבוע. התבצעה חלוקה של הנשים במאגר לקבוצות לפי סוגי וסת חצי קבוע, מבלי לכלול את הנשים שקובעות וסת הפלגה. הוצג בעזרת מבחנים סטטיסטיים שקיימים הבדלים מובהקים בין הקבוצות השונות. בהתאם לתוצאות מבחנים אלו, בוצע פיצול של מערכת המצבים ל-2 תתי מערכות נפרדות, שמתארות את המצבים ההלכתיים והמעברים ביניהם. תתי מערכות אלו נבנו עבור נשים שקובעות סוגי וסת חצי קבוע, שאין בהם צורך בפרישה סמוך לווסת בעונה הבינונית ובעונת החודש.

בעזרת מציאת התפלגויות המצבים היציבים של המערכות, התקבלו התוצאות הבאות: אחוז המצבים ההלכתיים הכולל, ללא צורך בפרישה סמוך לווסת בעונה הבינונית ובעונת החודש, יצא 9%. בהתמקדות בנשים שקובעות וסת חצי קבוע עם טווח אורכי מחזורי וסת מתחת ל-29 יום, אחוז המצבים ההלכתיים ללא צורך בפרישה סמוך לווסת בעונה הבינונית ובעונת החודש יצא 10.7%. בהתמקדות בנשים שקובעות וסת חצי קבוע עם טווח אורכי מחזורי וסת מעל ל-31 יום, וגם וסת חצי קבוע עם טווח אורכי מחזורי וסת

שכולל חיתוך עם הטווח של 31 – 29 יום, אחוז המצבים ההלכתיים ללא צורך בפרישה סמוך לווסת בעונה הבינונית ובעונת החודש יצא 12.2%.

למסקנה, בעזרת מחקרים אלו, ניתן לתאר ולהבין טוב יותר את המציאות ההלכתית הנפוצה באוכלוסייה בפועל, וניתן יהיה להשתמש ולהמשיך לפתח את הטכניקות שהוצגו במחקר זה, לצורך מידול ובחינות סטטיסטיות נוספות ורחבות יותר בעתיד, בין אם יהיה רצון לתאר יותר מצבים הלכתיים ובין אם יתקבלו נתונים חדשים על מחזורי וסת.

משמעות לרפואה ולחיזוי וסת

ממחקר זה בולטות שתי נקודות עיקריות שמציעות בחינה מחקרית נוספת, שעשויה לשפר את ההבנה במחזור הווסת. הנקודה הראשונה היא האבחנה בתופעות קביעות וסת, שבמחקר זה הוצג שהן אינן מקריות. הצעה אחת לבחינת הגורמים לתופעות אלו, היא שימוש ברגרסיה מרובת משתנים על מדדים רפואיים שונים. מומלץ לבחון את השילוב של תופעות קביעות וסתות באמצעי חיזוי וסת. לבסוף, מומלץ להתחשב בסוגי קביעות הווסת השונים לצורך הגדרת סדירות מחזורי וסת.

הנקודה השנייה היא גישת חיזוי הווסת הייחודית שמוצגת בהלכות וסתות. גישה זו כוללת מספר ימי חיזוי ומתחשבת לא רק באחוזי הצלחת החיזוי, אלא גם מבדילה בין חיזויים שלא היו מוצלחים אך קדמו לווסת, לבין חיזויים שהווסת קדמה להם. ממחקר זה עולה ההצעה להתייחס למדדים דומים כאלה בנוסף למדדים המוכרים MSE ו- $RMSE$.

בעבודת מחקר זו הוצגו מודלים הסתברותיים שמתארים מצבים הלכתיים מתוך הלכות וסתות, והוצגו ניתוחים סטטיסטיים על מאגר נתונים. שאלת החקר "כיצד ניתן לתאר את המצבים ההלכתיים השונים והמעברים ביניהם בצורה מתמטית?" קיבלה מענה בעבודה זו, בדמות מודל הסתברותי שנקרא שרשרת מרקוב. בפרק א' נעשה שימוש בשרשראות מרקוב לצורך תיקוף נתוני סקר אינטרנטי, בפרק ז' שרשרת מרקוב שימשה לתיאור וסת ההפלה ובפרק ח' שרשראות מרקוב תיארו סוגי וסת חצי קבוע. השימוש בשרשראות מרקוב לצורך תיאור המצבים ההלכתיים של הלכות וסתות הינו חידוש. בפרק ז' הוצגה טכניקת סימון מעברים בין מצבי שרשרת מרקוב, שעשויה בעתיד לעזור בפיתוח שיטה חדשה לצמצום מצבי שרשרת מרקוב, וכן לעזור לתאר את הלכות וסתות בצורה מדויקת יותר.

שאלת החקר "כיצד ניתן לתקף נתונים משאלונים אינטרנטיים כדי שיוכלו להוות בסיס למחקר מהימן על מחזורי וסת?" קיבלה התייחסות בפרק א', בו הוצג שהתפלגות אורכי מחזורי הווסת צריכה להידמות להתפלגות נורמלית (גרף פעמון) עם זנב ימני, ולא להתפלגות בצורת שן עם שתי פסגות ושכיחויות מוגברות במספרים "עגולים". כמו כן, הוצג מודל הסתברותי שעוזר לשער את אחוז הנשים שצפויות לקבוע וסת הפלה, כדי להשוות אותו עם התוצאות מתגובות השאלון.

שאלת החקר "האם הלכות וסתות מתארות תופעות שקיימות כיום?" קיבלה התייחסות בפרקים ב'-ג'. בפרק ב' הוסק שהסיבות שבגינן נקבעו פרישות סמוך לווסת בזמני העונה הבינונית, ההפלה והחודש עודן תקפות גם כיום. בפרק ג' הוצגו השכיחויות של קביעות וסת ונתוני אורכי משך הקביעות. מהנתונים מתברר שהתופעות אכן קיימות.

שאלת החקר "האם ואילו תופעות התקבלו כבעלות שכיחות שדומה למצופה ממדגם אקראי?" קיבלה התייחסות בסוף פרק ג', בו נערכה סימולציה על ידי הגרלת אורכי מחזורי וסת לפי ההתפלגות שמתקבלת ממאגר הנתונים, ומדידת רצפי קביעות וסת מסוגים שונים. בעזרת מידת המרחק של נתוני ההגרלות ונתוני קביעות הווסת המקוריים מממוצעי תוצאות ההגרלות, נדחתה "השערת האפס" שמספרי רצפי קביעות הווסת שהתקבלו במאגר נובעים מאקראיות. שיטה זו לבדיקת השערות דומה לשיטה קיימת, ובעתיד יש לחקור האם יש שוני מהותי בינה לבין השיטה הקיימת. במידה והשוני מהותי, יש לבסס את השיטה החדשה.

שאלת החקר "האם איכות החיזוי של וסת, לפי הכללים שנקבעו בהלכה, נחשבת לטובה כיום?" קיבלה התייחסות בפרק ד', בו הוצגה ההשוואה למדדי $MSE, RMSE$ של שיטות חיזוי מדעיות. הוסברו ההבדלים המהותיים בין השיטות, והתקבלה התוצאה, שגם כיום החיזוי שמתקבל מהלכות וסתות מספק מדדים טובים. בנוסף לבדיקת המדדים, נבחנה גישת החיזוי ההלכתית המקורית מול גישות נאיביות וגישות שמשמשות בחלק מהמאפיינים של הגישה ההלכתית המקורית. התוצאות הראו שאחוזי הצלחת החיזוי של הגישות הנאיביות גבוהים יותר, אולם מובילים ליחס גדול משמעותית של ימי פרישה שקדמו לווסת על חיזוי וסת מדויקים. הובאו הסברים להעדפת כללי חיזוי וסת בגישה ההלכתית המקורית: דינמיות, התאמה אישית וצמצום יחס הפרישות שקדמו לווסת ביחס למספר חיזויים מדויקים בעזרת כללי וסתות התאריך והגוף וגם כללי וסת חצי קבוע.

שאלת החקר "האם קיימת תלות בין סוגי קביעות וסת?" קיבלה התייחסות בפרק ה', בו נערכו מבחני תלות (כי בריבוע χ^2) בין נשים, לפי סוגי קביעות הווסת שהיו להן. תוצאות מבחנים אלו הצביעו על תלות בין קביעות וסת הפלה וקביעות וסת דילוג בתוך דילוג, שמובילה לשכיחות גבוהה מהמצופה של מספר הנשים

שקבעו את שני סוגי הווסתות. כמו כן, קיימת תלות בין קביעת וסת דילוג לבין קביעת וסת שבוע בדילוג, שמובילה לשכיחות נמוכה מהמצופה של מספר הנשים שקבעו את שני סוגי הווסתות. שאר מבחני התלות הצביעו על אי תלות מובהקת בין סוגי קביעות הווסת.

שאלת החקר "האם יש שונות בין מאפייני סוגי קביעות וסת?" קיבלה התייחסות בפרק ו', בו הוצגו מבחני שונות בין סטיות תקן וממוצעי אורכי מחזורי הווסת של נשים, בחלוקה של נשים לפי סוגי וסתות שקבעו. בנוסף הוצגו מבחני שונות בין אורכי מחזורי הווסת שמסווגים לפי סוג קביעות הווסת.

להערכת, לאחר ביצוע מבחני שונות אלו, החלוקה המהותית יותר היא בין נשים על פי סוגי קביעות וסת, ולא בין מחזורי וסת על פי סוגי קביעות וסת. נמצא שקיימים הבדלים מובהקים בין ממוצעים וסטיות תקן של אורכי מחזורי הווסת בין נשים שאינן קובעות וסת לבין לנשים שקובעות וסת. את ההבדלים האלו ניתן להסביר בכך שנשים שאינן קובעות וסת הן בעלות סדירות מחזורי וסת נמוכה יותר, ופיזור גדול יותר של אורכי מחזורי וסת. גורמים אלו מונעים מהן לקבוע וסת ומגדילים את ממוצעי אורכי מחזורי הווסת שלהן.

שאלת יישום ראשונה של מחקר זה היא: "האם ולאזנה תופעות שזכרו בהלכה כדאי להגביר מודעות, או שמא חוסר מודעות מועיל?". התשובה לשאלה זו מורכבת ומתבססת על נתונים שאינם מלאים⁸¹, אך נראה שהתופעות שמשמעותי ביותר להגביר מודעות לגביהן הן וסת ההפלגה ווסת חצי קבוע. בעזרת מודעות לשתי תופעות אלו וההשלכות ההלכתיות שלהן, ניתן לצמצם משמעותית את מספר הפעמים שבהן בני זוג נדרשים מבחינה הלכתית להימנע מקיום יחסים אינטימיים.

שאלת יישום שנייה היא: "האם ניתן להציע למחקר הרפואי והסטטיסטי שיפורים לפי הקריטריונים שהוצעו בהלכות וסתות?". תופעות קביעות הווסת מעלות הצעה להתחשב בתופעות אלו בהגדרת סדירות וסת. מגישת החיזוי של הלכות וסתות, עולות ההצעות לכלול סוגי קביעות וסת במודלים הסטטיסטיים בעזרת שרשראות מרקוב, לקבוע יותר מיום חיזוי אחד ולהבדיל בין חיזויים שקדמו לווסת לבין חיזויים שהווסת קדם להם.

מחקר זה מלמד שיש חשיבות גדולה לחקר מחזור הווסת בגישות הסתברותיות וסטטיסטיות בהיבט הלכתי. המשך חקר כזה עשוי להועיל לאוכלוסיית היהודים שומרי תורה ומצוות, ועשוי להוביל להתקדמויות מדעיות במידול הסתברותי, ניתוח סטטיסטי ובתחומי הרפואה.

⁸¹ לא הייתה אפשרות להתייחס במחקר זה לקביעות וסתות תאריכים, שעות וגוף.

נספחים

נספחים לפרק ב'

נספח א: טבלת שכיחויות עבור אורכי מחזורי וסת

אורך מחזור וסת	שכיחות	שכיחות מצטברת	שכיחות יחסית	שכיחות יחסית מצטברת
18	2	2	0%	0%
19	1	3	0%	0%
20	1	4	0%	0%
21	4	8	0%	1%
22	2	10	0%	1%
23	17	27	1%	2%
24	46	73	3%	5%
25	106	179	7%	12%
26	179	358	12%	23%
27	194	552	12%	36%
28	225	777	14%	50%
29	175	952	11%	61%
30	141	1093	9%	70%
31	109	1202	7%	77%
32	98	1300	6%	84%
33	70	1370	5%	88%
34	35	1405	2%	90%
35	41	1446	3%	93%
36	25	1471	2%	95%
37	19	1490	1%	96%
38	23	1513	1%	97%
39	7	1520	0%	98%
40	13	1533	1%	99%
41	4	1537	0%	99%
42	7	1544	0%	99%
43	3	1547	0%	100%
44	1	1548	0%	100%
45	2	1550	0%	100%
46	0	1550	0%	100%
47	0	1550	0%	100%
48	1	1551	0%	100%
49	1	1552	0%	100%
50	0	1552	0%	100%
51	1	1553	0%	100%
52	0	1553	0%	100%
53	0	1553	0%	100%
54	1	1554	0%	100%

נספח ב: טבלת שכיחויות עבור הפרשים בין שני מחזורי וסת עוקבים

הפרש בין הפלגות עוקבות	שכיחות	שכיחות מצטברת	שכיחות יחסית	שכיחות יחסית מצטברת
-21	1	1	0%	0%
-20	0	1	0%	0%
-19	0	1	0%	0%
-18	0	1	0%	0%
-17	0	1	0%	0%
-16	2	3	0%	0%
-15	4	7	0%	0%
-14	1	8	0%	0%
-13	1	9	0%	1%
-12	6	15	0%	1%
-11	4	19	0%	1%
-10	5	24	0%	2%
-9	9	33	1%	2%
-8	13	46	1%	3%
-7	30	76	2%	5%
-6	26	102	2%	7%
-5	42	144	3%	10%
-4	58	202	4%	14%
-3	80	282	6%	20%
-2	142	424	10%	29%
-1	203	627	14%	44%
0	198	825	14%	57%
1	185	1010	13%	70%
2	148	1158	10%	81%
3	87	1245	6%	87%
4	64	1309	4%	91%
5	36	1345	3%	94%
6	26	1371	2%	95%
7	20	1391	1%	97%
8	18	1409	1%	98%
9	9	1418	1%	99%
10	3	1421	0%	99%
11	2	1423	0%	99%
12	2	1425	0%	99%
13	3	1428	0%	99%
14	2	1430	0%	100%
15	1	1431	0%	100%
16	1	1432	0%	100%
17	1	1433	0%	100%
18	1	1434	0%	100%
19	1	1435	0%	100%
20	0	1435	0%	100%
21	1	1436	0%	100%

נספח א: שכיחויות קביעות וסת ההפלגה לפי מספר דיווח

שכיחות מצטברת	שכיחות יחסית	שכיחות	באיזה דיווח קביעה ראשונה?
10%	10%	2	3
15%	5%	1	4
25%	10%	2	5
45%	20%	4	6
50%	5%	1	7
55%	5%	1	8
60%	5%	1	10
70%	10%	2	11
75%	5%	1	12
80%	5%	1	13
85%	5%	1	14
90%	5%	1	15
95%	5%	1	19
100%	5%	1	22
100%	100%	20	סכום

נספח ב: טבלת וסת הדילוג לפי קביעה על בסיס 3 דילוגים זהים (דעת שמואל)

זיהוי	דילוג	אורך מחזור וסת בתחילת הדילוג	מספר מחזורים מקביעה עד עקירה	מספר מחזורים מקביעה עד סיום דיווח	חיזויים מוצלחים	חיזויים שגויים
nfp8031	-1	30	3		0	3
nfp8187	1	26	4		0	3
nfp8266	-1	29		0		
nfp8306	-2	33	5		1	4

נספח ג: שכיחויות קביעות וסתות הפלגה בדילוג (רגיל ולמפרע) לפי מספר דיווח

מחזור דיווח קביעה ראשונה	שכיחות	שכיחות יחסית	שכיחות מצטברת
3	2	4%	4%
4	6	13%	17%
5	4	8%	25%
6	9	19%	44%
7	4	8%	52%
8	5	10%	63%
9	3	6%	69%
10	2	4%	73%
11	4	8%	81%
12	4	8%	90%
13	2	4%	94%
16	1	2%	96%
17	1	2%	98%
21	1	2%	100%
סכום	48	100%	100%

נספח לפרקים ג', ה': טבלת שכיחות קביעת סוגי וסת לפי נשים שקבעו וסת כלשהו

זיהוי	הפלגה	דילוג	שבוע	שבוע בדילוג	דילוג בתוך דילוג	סכום
nfp8020	1	0	0	0	0	1
nfp8024	0	1	0	0	0	1
nfp8026	0	1	0	0	0	1
nfp8030	0	0	0	1	0	1
nfp8031	0	1	0	0	0	1
nfp8032	0	1	0	0	0	1
nfp8036	0	0	0	0	1	1
nfp8040	0	1	0	0	0	1
nfp8041	0	1	0	0	0	1
nfp8042	0	1	0	0	0	1
nfp8045	1	1	0	1	0	3
nfp8046	0	1	0	0	0	1
nfp8051	0	1	0	0	0	1
nfp8058	0	0	0	1	0	1
nfp8060	0	1	0	0	1	2
nfp8062	1	1	0	0	1	3
nfp8066	1	1	1	0	1	4
nfp8068	1	0	0	0	0	1
nfp8072	0	0	0	0	1	1
nfp8079	1	0	0	0	0	1
nfp8080	0	1	0	0	0	1
nfp8083	0	1	1	0	0	2
nfp8091	0	1	0	1	0	2
nfp8099	0	1	1	0	1	3
nfp8100	1	0	0	1	1	3
nfp8102	1	0	0	1	0	2
nfp8107	0	0	0	1	1	2
nfp8116	0	1	1	0	0	2
nfp8122	0	1	1	0	0	2
nfp8123	0	1	0	0	0	1
nfp8129	0	0	1	1	0	2
nfp8133	1	0	0	0	0	1
nfp8137	0	0	1	0	1	2
nfp8152	0	0	0	0	1	1
nfp8155	0	1	0	0	0	1
nfp8164	0	0	1	0	0	1
nfp8165	0	1	0	0	0	1
nfp8168	0	0	0	0	1	1
nfp8173	0	0	0	0	1	1
nfp8174	1	1	1	1	1	5
nfp8176	0	1	0	0	0	1

1	0	0	0	0	1	nfp8178
1	1	0	0	0	0	nfp8179
1	0	0	1	0	0	nfp8184
2	0	0	1	0	1	nfp8186
1	0	0	0	1	0	nfp8187
1	0	0	1	0	0	nfp8188
2	1	0	0	1	0	nfp8193
1	0	1	0	0	0	nfp8196
1	0	1	0	0	0	nfp8197
1	0	0	0	1	0	nfp8221
2	0	1	1	0	0	nfp8223
2	0	0	1	1	0	nfp8234
1	0	0	1	0	0	nfp8235
1	0	0	0	1	0	nfp8237
1	0	0	1	0	0	nfp8242
1	0	1	0	0	0	nfp8249
2	0	1	1	0	0	nfp8257
2	0	0	0	1	1	nfp8260
1	1	0	0	0	0	nfp8263
4	0	1	1	1	1	nfp8264
1	0	0	0	1	0	nfp8266
1	0	0	0	1	0	nfp8268
1	0	0	0	1	0	nfp8269
2	1	0	0	0	1	nfp8270
2	0	0	1	1	0	nfp8276
4	1	0	1	1	1	nfp8278
2	1	0	1	0	0	nfp8279
1	0	0	0	1	0	nfp8282
4	1	0	1	1	1	nfp8289
1	0	0	0	1	0	nfp8290
1	0	0	0	1	0	nfp8296
1	0	1	0	0	0	nfp8298
2	1	0	0	1	0	nfp8299
1	0	0	1	0	0	nfp8303
2	0	0	1	1	0	nfp8306
4	1	1	0	1	1	nfp8308
1	0	0	0	1	0	nfp8309
2	0	0	0	1	1	nfp8310
1	0	0	0	1	0	nfp8312
2	0	0	1	1	0	nfp8323
3	1	1	0	0	1	nfp8328
2	0	0	1	1	0	nfp8334
135	23	18	26	48	20	סכום

בטבלה הבאה העמודות מחולקות לפי סוגי קביעות וסת, תאי הטבלה מייצגים ב-1 קביעת וסת וב-0 אי קביעת וסת. התקדמות השורות לפי ספירה בבסיס 2 (בינארית).

130

נספח א: פירוט נשים לפי סוג קביעת וסת

הפלגה	דילוג	שבוע	שבוע בדילוג	דילוג בתוך דילוג
nfp8020	nfp8024	nfp8066	nfp8030	nfp8036
nfp8045	nfp8026	nfp8083	nfp8045	nfp8060
nfp8062	nfp8031	nfp8099	nfp8058	nfp8062
nfp8066	nfp8032	nfp8116	nfp8091	nfp8066
nfp8068	nfp8040	nfp8122	nfp8100	nfp8072
nfp8079	nfp8041	nfp8129	nfp8102	nfp8099
nfp8100	nfp8042	nfp8137	nfp8107	nfp8100
nfp8102	nfp8045	nfp8164	nfp8129	nfp8107
nfp8133	nfp8046	nfp8174	nfp8174	nfp8137
nfp8174	nfp8051	nfp8184	nfp8196	nfp8152
nfp8178	nfp8060	nfp8186	nfp8197	nfp8168
nfp8186	nfp8062	nfp8188	nfp8223	nfp8173
nfp8260	nfp8066	nfp8223	nfp8249	nfp8174
nfp8264	nfp8080	nfp8234	nfp8257	nfp8179
nfp8270	nfp8083	nfp8235	nfp8264	nfp8193
nfp8278	nfp8091	nfp8242	nfp8298	nfp8263
nfp8289	nfp8099	nfp8257	nfp8308	nfp8270
nfp8308	nfp8116	nfp8264	nfp8328	nfp8278
nfp8310	nfp8122	nfp8276		nfp8279
nfp8328	nfp8123	nfp8278		nfp8289
	nfp8155	nfp8279		nfp8299
	nfp8165	nfp8289		nfp8308
	nfp8174	nfp8303		nfp8328
	nfp8176	nfp8306		
	nfp8187	nfp8323		
	nfp8193	nfp8334		
	nfp8221			
	nfp8234			
	nfp8237			
	nfp8260			
	nfp8264			
	nfp8266			
	nfp8268			
	nfp8269			
	nfp8276			
	nfp8278			
	nfp8282			
	nfp8289			
	nfp8290			
	nfp8296			
	nfp8299			
	nfp8306			
	nfp8308			
	nfp8309			
	nfp8310			
	nfp8312			
	nfp8323			
	nfp8334			

נספח ב: מבחני כי בריבוע (χ^2) לבדיקת תלות ואי תלות עבור זוגות סוגי קביעות וסת

המבחן המקובל לבדיקת תלות ואי תלות בין זוג משתנים, הוא מבחן כי בריבוע (χ^2), שבו מחשבים בעזרת מכפלת השכיחויות היחסיות של כל משתנה, את השכיחות המשותפת המצופה ממקרה של אי תלות בין המשתנים. לאחר חישוב זה, מחלקים את ריבוע ההפרש בין הערך הצפוי לערך המצוי, בערך הצפוי, וסוכמים את כל התוצאות לקבלת ערך "כי סטטיסטי".

בטבלאות הבאות יוצגו כל זוגות ההתפלגויות המשותפות, בסימוני הסוגריים יוצגו ערכי השכיחות הצפויים ממקרה של אי תלות. לאחר כל טבלה יוצגו ערך כי סטטיסטי (בכל המבחנים $n = 83, df = 1$), $p - value$ ומסקנת המבחן עבור רמת מובהקות $\alpha = 0.05$.

קבעו דיילוג	לא קבעו דיילוג	סכום
קבעו הפלגה	10 (11.57)	10 (8.43)
לא קבעו הפלגה	38 (36.43)	25 (26.57)
סכום	48	83

$$\chi^2 = 0.66, \quad p = 0.416$$

מסקנה: אין תלות, בצורה מובהקת, בין קביעת וסת הפלגה לקביעת וסת דיילוג.

קבעו שבוע	לא קבעו שבוע	סכום
קבעו הפלגה	6 (6.265)	14 (13.73)
לא קבעו הפלגה	20 (19.73)	43 (43.27)
סכום	26	57

$$\chi^2 = 0.02, \quad p = 0.88$$

מסקנה: אין תלות, בצורה מובהקת מאוד, בין קביעת וסת הפלגה לקביעת וסת שבוע.

קבעו שבוע בדילוג	לא קבעו שבוע בדילוג	סכום
קבעו הפלגה	7 (4.33)	13 (15.66)
לא קבעו הפלגה	11 (13.66)	52 (49.34)
סכום	18	65

$$\chi^2 = 2.75, \quad p = 0.097$$

מסקנה: אין תלות, בצורה שאינה מובהקת, בין קביעת וסת הפלגה לקביעת וסת שבוע בדילוג.

קבעו דילוג בתוך	לא קבעו דילוג בתוך	סכום
דילוג	דילוג	
9 (5.54)	11 (14.46)	20
14 (17.46)	49 (45.54)	63
23	60	83
קבעו הפלגה	לא קבעו הפלגה	סכום

$$\chi^2 = 3.932, \quad p = 0.047$$

מסקנה : יש תלות, בצורה שאינה מובהקת מאוד, בין קביעת וסת הפלגה לקביעת וסת דילוג בתוך דילוג : קביעות 2 הווסתות שכיחה יותר ביחס למצופה.

קבעו שבוע	לא קבעו שבוע	סכום
קבעו דילוג	לא קבעו דילוג	
14 (15.04)	34 (32.96)	48
12 (10.96)	23 (24.04)	35
26	57	83
קבעו דילוג	לא קבעו דילוג	סכום

$$\chi^2 = 0.247, \quad p = 0.62$$

מסקנה : אין תלות, בצורה מובהקת מאוד, בין קביעת וסת דילוג לקביעת וסת שבוע.

קבעו שבוע בדילוג	לא קבעו שבוע בדילוג	סכום
קבעו דילוג	לא קבעו דילוג	
5 (10.41)	43 (37.59)	48
13 (7.59)	22 (27.41)	35
18	65	83
קבעו דילוג	לא קבעו דילוג	סכום

$$\chi^2 = 8.51, \quad p = 0.0035$$

מסקנה : יש תלות מובהקת מאוד בין קביעת וסת דילוג לקביעת וסת שבוע בדילוג : קביעות 2 הווסתות שכיחה פחות ביחס למצופה.

קבעו דילוג בתוך	לא קבעו דילוג בתוך	סכום
דילוג	דילוג	
10 (13.3)	38 (34.7)	48
13 (9.7)	22 (25.3)	35
23	60	83
קבעו דילוג	לא קבעו דילוג	סכום

$$\chi^2 = 2.69, \quad p = 0.101$$

מסקנה : אין תלות, בצורה שאינה מובהקת מאוד, בין קביעת וסת דילוג לקביעת וסת דילוג בתוך דילוג.

קבעו שבוע בדילוג	לא קבעו שבוע בדילוג	סכום
קבעו שבוע	21 (20.36)	26
לא קבעו שבוע	44 (44.64)	57
סכום	65	83

$$\chi^2 = 0.1345, \quad p = 0.714$$

מסקנה : אין תלות, בצורה מובהקת מאוד, בין קביעת וסת שבוע לקביעת וסת שבוע בדילוג.

קבעו דילוג בתוך דילוג	לא קבעו דילוג בתוך דילוג	סכום
קבעו שבוע	7 (7.2)	26
לא קבעו שבוע	16 (15.8)	57
סכום	23	83

$$\chi^2 = 0.012, \quad p = 0.914$$

מסקנה : אין תלות, בצורה מובהקת מאוד, בין קביעת וסת שבוע לקביעת וסת דילוג בתוך דילוג.

קבעו דילוג בתוך דילוג	לא קבעו דילוג בתוך דילוג	סכום
קבעו שבוע בדילוג	5 (4.99)	18
לא קבעו שבוע בדילוג	18 (18.01)	65
סכום	23	83

$$\chi^2 = 0.00005, \quad p = 0.9943$$

מסקנה : אין תלות, בצורה מובהקת מאוד, בין קביעת וסת שבוע בדילוג לקביעת וסת דילוג בתוך דילוג.

נספח ג: סטיות תקן אורכי מחזורי הווסת של נשים שקבעו וסת דילוג בתוך דילוג

קבעו הפלגה	לא קבעו הפלגה
1.91	1.52
1.26	2.14
2.47	3.43
1.04	1.45
1.61	1.98
0.85	1.37
1.37	3.25
0.95	3.20
2.61	2.51
	2.89
	1.07
	3.94
	2.43
	3.29

נספח א: ממוצעי נשים לפי סוג קביעת וסת

הפלגה	דילוג	שבוע	שבוע בדילוג	דילוג בתוך דילוג	ללא קביעת וסת
25.88	28.75	27.58	26.75	32.6	27.58
29.9	27.67	28.07	29.9	27.62	27.43
30.64	27.17	26.38	28.77	30.64	25.8
27.58	32.83	28.38	27.46	27.58	30.92
25.23	29	27.33	29.5	34.07	30.25
25.15	30.36	30.15	27.08	26.38	33.92
29.5	31.33	27.67	26.75	29.5	27.46
27.08	29.9	31.17	30.15	26.75	26.42
33.46	25.15	27.78	27.78	27.67	31.75
27.78	29.4	29.82	28.17	27.36	33.38
26.71	27.62	27.5	27.29	27.4	26.25
27.5	30.64	30.94	29.1	31.26	26.77
31.45	27.58	29.1	29.38	27.78	38.82
27.92	28.46	26.85	31	31	31.4
30.92	28.07	36.33	27.92	25.5	30.58
27	27.46	29.62	33	33.47	25.70
26.94	26.38	31	28.31	30.92	37.17
28.31	28.38	27.92	30.48	27	30.83
25.43	27.33	26.58		30.42	35.95
30.48	31.33	27		26.94	25.4
	31.55	30.42		25.56	33.83
	27.15	26.94		28.31	26.27
	27.78	28.8		30.48	31.14
	30.93	29.42			33.17
	26.85	30.42			26.78
	25.5	29.64			31.6
	29				26.31
	26.85				30.83
	25.85				28.54
	31.45				33
	27.92				31.42
	27.9				32.6
	31.17				32
	31				37.08
	26.58				33.17
	27				
	32.07				
	26.94				
	28.54				
	30.82				
	25.56				
	29.42				
	28.31				
	26.38				
	25.43				
	28.22				
	30.42				
	29.64				

נספח ב: סטיות תקן נשים לפי סוג קביעת וסת

הפלגה	דילוג	שבוע	שבוע בדילוג	דילוג בתוך דילוג	ללא קביעת וסת
2.64	2.09	1.24	2.41	1.36	2.50
1.58	1.89	1.98	1.58	2.06	2.92
1.82	0.99	1.39	0.97	1.82	1.47
1.24	3.56	1.33	1.87	1.24	3.45
0.80	0.71	1.61	2.36	3.31	3.83
1.66	1.77	2.74	1.33	1.39	3.63
2.36	3.32	1.31	1.85	2.36	2.47
1.33	1.58	3.87	2.74	1.85	1.19
1.87	1.51	1.02	1.02	1.31	4.28
1.02	1.91	2.28	2.51	3.13	3.79
1.10	2.06	1.85	1.39	3.04	2.52
1.85	1.82	2.46	0.94	2.46	1.19
1.44	1.24	0.94	4.05	1.02	6.38
0.83	1.82	1.10	3.37	2.77	3.61
1.54	1.98	3.20	0.83	1.00	2.69
0.82	1.87	4.25	6.81	3.81	1.61
1.34	1.39	3.37	0.91	1.54	3.58
0.91	1.33	0.83	2.57	0.82	2.07
0.98	1.61	1.50		2.33	4.78
2.57	2.09	0.82		1.34	1.31
	2.39	2.33		3.18	2.27
	3.11	1.34		0.91	1.05
	1.02	2.04		2.57	2.80
	3.39	1.89			3.93
	1.83	3.30			0.79
	1.00	3.77			5.24
	1.15				1.16
	1.10				2.61
	1.35				2.06
	1.44				3.74
	0.83				2.63
	1.92				3.01
	2.58				0.63
	1.78				5.41
	1.50				8.29
	0.82				
	2.95				
	1.34				
	3.67				
	2.21				
	3.18				
	1.89				
	0.91				
	1.83				
	0.98				
	2.25				
	3.30				
	3.77				

נספח ג: טבלאות שכיחויות למחזורי הווסת לפי וסת קבוע (מחזורי וסת בספירת "עד ועד בכלל")

וסת לא קבוע: ממוצע: 30.6. חציון: 30. שכיח: 29. שונות: 16.09. סטיית תקן: 4.01.

אורך מחזור וסת	שכיחות	שכיחות מצטברת	שכיחות יחסית	שכיחות יחסית מצטברת
18	0	0	0%	0%
19	0	0	0%	0%
20	1	1	0.1%	0%
21	0	1	0.1%	0%
22	2	3	0.3%	0%
23	2	5	0.4%	0%
24	11	16	1.4%	1%
25	29	45	4%	3%
26	73	118	10.4%	6%
27	127	245	21.6%	11%
28	135	380	33.5%	12%
29	153	533	47%	13%
30	130	663	58.5%	11%
31	98	761	67.1%	9%
32	76	837	73.8%	7%
33	78	915	80.7%	7%
34	55	970	85.5%	5%
35	31	1001	88.3%	3%
36	37	1038	91.5%	3%
37	22	1060	93.5%	2%
38	19	1079	95.1%	2%
39	19	1098	96.8%	2%
40	7	1105	97.4%	1%
41	12	1117	98.5%	1%
42	3	1120	98.8%	0%
43	5	1125	99.2%	0%
44	3	1128	99.5%	0%
45	1	1129	99.6%	0%
46	2	1131	99.7%	0%
47	0	1131	99.7%	0%
48	0	1131	99.7%	0%
49	0	1131	99.7%	0%
50	1	1132	99.8%	0%
51	0	1132	99.8%	0%
52	1	1133	99.9%	0%
53	0	1133	99.9%	0%
54	0	1133	99.9%	0%
55	1	1134	100%	0%
סכום	1134	1134	100%	100%

וסת הפלגה : ממוצע: 28.9. חציון : 29. שכיח : 29. שונות : 8.49. סטיית תקן : 2.91.

אורך מחזור וסת	שכיחות	שכיחות מצטברת	שכיחות יחסית	שכיחות יחסית מצטברת
18	0	0	0%	0%
19	1	1	0.9%	1%
20	0	1	0.9%	0%
21	0	1	0.9%	0%
22	1	2	1.8%	1%
23	0	2	1.8%	0%
24	2	4	3.5%	2%
25	6	10	8.8%	5%
26	9	19	16.7%	8%
27	15	34	29.8%	13%
28	17	51	44.7%	15%
29	23	74	64.9%	20%
30	14	88	77.2%	12%
31	6	94	82.5%	5%
32	9	103	90.4%	8%
33	3	106	93.0%	3%
34	4	110	96.5%	4%
35	1	111	97.4%	1%
36	1	112	98.2%	1%
37	1	113	99.1%	1%
38	0	113	99.1%	0%
39	1	114	100%	1%
סכום	114	114	100%	100%

וסת דילוג: ממוצע: 29.04. חציון: 29. שכיח: 28. שונות: 7.73. סטיית תקן: 2.78.

אורך מחזור וסת	שכיחות	שכיחות מצטברת	שכיחות יחסית	שכיחות יחסית מצטברת
20	0	0	0%	0%
21	1	1	1%	0.6%
22	0	1	0%	0.6%
23	0	1	0%	0.6%
24	3	4	2%	2.2%
25	6	10	3%	5.6%
26	18	28	10%	15.7%
27	24	52	13%	29.2%
28	33	85	19%	47.8%
29	32	117	18%	65.7%
30	10	127	6%	71.3%
31	18	145	10%	81.5%
32	14	159	8%	89.3%
33	11	170	6%	95.5%
34	4	174	2%	97.8%
35	0	174	0%	97.8%
36	2	176	1%	98.9%
37	0	176	0%	98.9%
38	0	176	0%	98.9%
39	1	177	1%	99.4%
40	0	177	0%	99.4%
41	0	177	0%	99.4%
42	1	178	1%	100%
סכום	178	178	100%	100%

וסת שבוע: ממוצע: 29.85. חציון: 29. שכיח: 29. שונות: 11.24. סטיית תקן: 3.35.

אורך מחזור וסת	שכיחות	שכיחות מצטברת	שכיחות יחסית	שכיחות יחסית מצטברת
24	0	0	0%	0%
25	5	5	6.7%	7%
26	2	7	9.3%	3%
27	10	17	22.7%	13%
28	8	25	33.3%	11%
29	16	41	54.7%	21%
30	10	51	68%	13%
31	9	60	80%	12%
32	3	63	84%	4%
33	4	67	89.3%	5%
34	3	70	93.3%	4%
35	1	71	94.7%	1%
36	0	71	94.7%	0%
37	1	72	96%	1%
38	0	72	96%	0%
39	1	73	97.3%	1%
40	0	73	97.3%	0%
41	1	74	98.7%	1%
42	0	74	98.7%	0%
43	1	75	100%	1%
סכום	75	75	100%	100%

וסת שבוע בדילוג : ממוצע: 30.33. חציון: 30. שכיח: 30. שונות: 12.4. סטיית תקן: 3.52.

אורך מחזור וסת	שכיחות	שכיחות מצטברת	שכיחות יחסית	שכיחות יחסית מצטברת
24	1	1	2%	1.8%
25	1	2	2%	3.5%
26	2	4	4%	7%
27	5	9	9%	15.8%
28	4	13	7%	22.8%
29	10	23	18%	40.4%
30	12	35	21%	61.4%
31	8	43	14%	75.4%
32	6	49	11%	86%
33	1	50	2%	87.7%
34	3	53	5%	93%
35	2	55	4%	96.5%
36	0	55	0%	96.5%
37	1	56	2%	98.2%
38	0	56	0%	98.2%
39	0	56	0%	98.2%
40	0	56	0%	98.2%
41	0	56	0%	98.2%
42	0	56	0%	98.2%
43	0	56	0%	98.2%
44	0	56	0%	98.2%
45	0	56	0%	98.2%
46	0	56	0%	98.2%
47	0	56	0%	98.2%
48	0	56	0%	98.2%
49	1	57	2%	100%
סכום	57	57	100%	100%

וסת דילוג בתוך דילוג : ממוצע : 29.55. חציון : 29. שכיח : 29. שונות : 12.11. סטיית תקן : 3.48.

אורך מחזור וסת	שכיחות	שכיחות מצטברת	שכיחות יחסית	שכיחות יחסית מצטברת
18	0	0	0%	0%
19	1	1	1%	1.4%
20	0	1	0%	1.4%
21	0	1	0%	1.4%
22	1	2	1%	2.7%
23	0	2	0%	2.7%
24	0	2	0%	2.7%
25	5	7	7%	9.5%
26	3	10	4%	13.5%
27	6	16	8%	21.6%
28	10	26	14%	35.1%
29	14	40	19%	54.1%
30	11	51	15%	68.9%
31	7	58	9%	78.4%
32	7	65	9%	87.8%
33	2	67	3%	90.5%
34	2	69	3%	93.2%
35	1	70	1%	94.6%
36	1	71	1%	95.9%
37	1	72	1%	97.3%
38	0	72	0%	97.3%
39	1	73	1%	98.6%
40	0	73	0%	98.6%
41	0	73	0%	98.6%
42	0	73	0%	98.6%
43	1	74	1%	100%
סכום	74	74	100%	100%

נספח ד: התפלגות מחזורי לפי סוגי וסת פעילים

בטבלה הבאה סימון 1 משמעותו שמחזור הווסת מסוג העמודה פעיל, סימון ריק משמעותו שמחזור הווסת מסוג העמודה אינו פעיל.

הפלגה	דילוג	שבוע	שבוע בדילוג	דילוג בתוך דילוג	מחזורי פעילות משותפים
					1134
1					67
	1				153
1	1				7
		1			52
1		1			9
	1	1			8
1	1	1			2
			1		34
1			1		9
	1		1		3
1	1		1		1
		1	1		1
1		1	1		0
	1	1	1		0
1	1	1	1		0
				1	47
1				1	11
	1			1	3
1	1			1	1
		1		1	0
1		1		1	3
	1	1		1	0
1	1	1		1	0
			1	1	5
1			1	1	4
	1		1	1	0
1	1		1	1	0
		1	1	1	0
1		1	1	1	0
	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	0
					1554
סכום:					

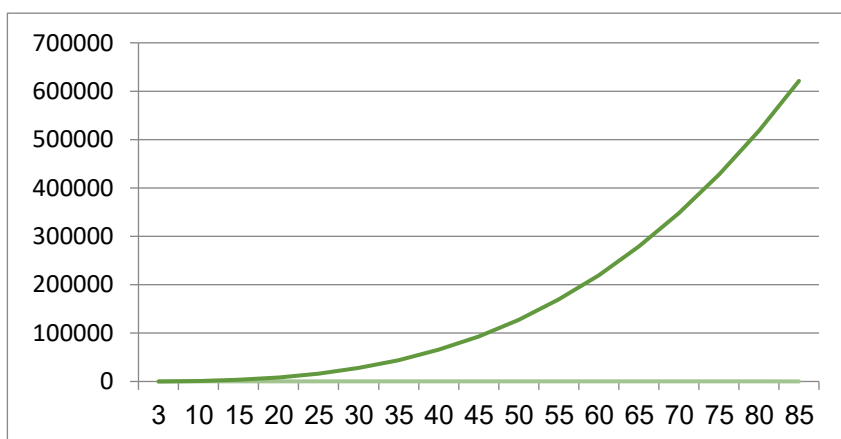
נספח א: פונקציית מספר מצבי מערכת

נסמן ב- x את גודל הטווח עבור אורכי מחזורי וסת אפשריים. למערכת יהיו x מצבי וסת קבוע עבור כל אורך מחזור וסת אפשרי. עבור מצב וסת קבוע יותאמו $x - 1$ מצבי סטייה מהווסת, בסך הכול $(x - 1) * x$ מצבים. עבור כל אחד ממצבי הסטייה יותאם מספר זהה של סטיות חוזרות (באורך זהה לסטייה הראשונה), ועוד $x - 2$ אפשרויות סטייה שונות, בסך הכול $(x - 2) * x * (x - 1) + x * (x - 1)$. לאחר הוצאת גורם משותף נקבל $x * (x - 1)^2$. בווסת לא קבוע יהיו $x - 1$ מצבים עבור רצפים של שני מחזורי וסת זהים ו- $x - 1$ מצבים למקרים שבהם מחזור הווסת האחרון שונה מקודמו, בסך הכול $2x * (x - 1)$.

לאחר חיבור כל המצבים לפונקציית סכום מצבים נקבל:

$$f(x) = x + x(x - 1) + x(x - 1)^2 + 2x * (x - 1) = x(1 + (x - 1) * (1 + x - 1 + 2)) \\ = x(x^2 + x - 1)$$

טבלת ערכים של הפונקציה וגרף להמחשה:



גודל טווח וסתות	מספר מצבים
3	33
10	1,090
15	3,585
20	8,380
25	16,225
30	27,870
35	44,065
40	65,560
45	93,105
50	127,450
55	169,345
60	219,540
65	278,785
70	347,830
75	427,425
80	518,320
85	621,265

נספח ב: חישובים למציאת התפלגות סטציונרית

$$(\pi P)^T = P^T \pi^T = \pi$$

$$\begin{pmatrix} p & p & p+r & p & 1-s & q \\ 1-p & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-p-r & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r & 0 & 1-q-s \\ 0 & 0 & 1-p-r & 1-p-r & s & s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \pi_4 \\ \pi_5 \\ \pi_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \pi_4 \\ \pi_5 \\ \pi_6 \end{pmatrix}$$

לאחר הכפלת המטריצה בוקטור נקבל מערכת משוואות:

$$\begin{cases} p\pi_1 + p\pi_2 + (p+r)\pi_3 + p\pi_4 + (1-s)\pi_5 + q\pi_6 & = \pi_1 \\ (1-p)\pi_1 & = \pi_2 \\ r\pi_2 & = \pi_3 \\ (1-p-r)\pi_2 & = \pi_4 \\ r\pi_4 + (1-q-s)\pi_6 & = \pi_5 \\ (1-p-r)(\pi_3 + \pi_4) + s(\pi_5 + \pi_6) & = \pi_6 \end{cases}$$

כדי לקבל התפלגות סטציונרית, ניתן לבחור אחת מהמשוואות להחלפה במשוואה

$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 + \pi_6 = 1$, נבצע את ההחלפה עם שורה מספר 1. בנוסף, נציג את π_3 ו- π_4

כביטויים התלויים ב- π_1 .

$$\begin{cases} \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 + \pi_6 & = 1 \\ (1-p)\pi_1 & = \pi_2 \\ r(1-p)\pi_1 & = \pi_3 \\ (1-p-r)(1-p)\pi_1 & = \pi_4 \\ r(1-p-r)(1-p)\pi_1 + (1-q-s)\pi_6 & = \pi_5 \\ (1-p-r)(\pi_3 + \pi_4) + s(\pi_5 + \pi_6) & = \pi_6 \end{cases}$$

במשוואה השישית נציב עבור $\pi_3 + \pi_4$ ביטוי התלוי ב- π_1 ונעביר מאגף שמאל את $s\pi_6$ לאגף ימין.

$$\begin{cases} \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 + \pi_6 & = 1 \\ (1-p)\pi_1 & = \pi_2 \\ r(1-p)\pi_1 & = \pi_3 \\ (1-p-r)(1-p)\pi_1 & = \pi_4 \\ r(1-p-r)(1-p)\pi_1 + (1-q-s)\pi_6 & = \pi_5 \\ (1-p-r)(1-p)^2\pi_1 + s\pi_5 & = (1-s)\pi_6 \end{cases}$$

במשוואה השישית נציב את π_5 .

$$\left\{ \begin{array}{rcl} \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 + \pi_6 & = & 1 \\ (1-p)\pi_1 & = & \pi_2 \\ r(1-p)\pi_1 & = & \pi_3 \\ (1-p-r)(1-p)\pi_1 & = & \pi_4 \\ r(1-p-r)(1-p)\pi_1 + (1-q-s)\pi_6 & = & \pi_5 \\ (1-p-r)(1-p)^2\pi_1 + s(r(1-p-r)(1-p)\pi_1 + (1-q-s)\pi_6) & = & (1-s)\pi_6 \end{array} \right.$$

במשוואה השישית נעביר מאגף שמאל את הביטוי המכפיל את π_6 לאגף ימין.

$$\left\{ \begin{array}{rcl} \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 + \pi_6 & = & 1 \\ (1-p)\pi_1 & = & \pi_2 \\ r(1-p)\pi_1 & = & \pi_3 \\ (1-p-r)(1-p)\pi_1 & = & \pi_4 \\ r(1-p-r)(1-p)\pi_1 + (1-q-s)\pi_6 & = & \pi_5 \\ (1-p-r)(1-p)^2\pi_1 + sr(1-p-r)(1-p)\pi_1 & = & (1-2s+s^2+qs)\pi_6 \end{array} \right.$$

במשוואה השישית נוציא גורם משותף $(1-p-r)(1-p)\pi_1$ ונחלק בביטוי הכופל את π_6 . לאחר

מכן נציב במשוואה החמישית את π_6 .

$$\left\{ \begin{array}{rcl} \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 + \pi_6 & = & 1 \\ (1-p)\pi_1 & = & \pi_2 \\ r(1-p)\pi_1 & = & \pi_3 \\ (1-p-r)(1-p)\pi_1 & = & \pi_4 \\ r(1-p-r)(1-p)\pi_1 + (1-q-s) \frac{(1-p-r)(1-p)\pi_1(1-p+sr)}{(1-s)^2+qs} & = & \pi_5 \\ \frac{(1-p-r)(1-p)\pi_1(1-p+sr)}{(1-s)^2+qs} & = & \pi_6 \end{array} \right.$$

במשוואה החמישית נוציא גורם משותף $(1-p-r)(1-p)\pi_1$.

$$\left\{ \begin{array}{rcl} \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 + \pi_6 & = & 1 \\ (1-p)\pi_1 & = & \pi_2 \\ r(1-p)\pi_1 & = & \pi_3 \\ (1-p-r)(1-p)\pi_1 & = & \pi_4 \\ (1-p-r)(1-p)\pi_1 \left(r + \frac{(1-q-s)(1-p+sr)}{(1-s)^2 + qs} \right) & = & \pi_5 \\ \frac{(1-p-r)(1-p)\pi_1(1-p+sr)}{(1-s)^2 + qs} & = & \pi_6 \end{array} \right.$$

כעת נוכל לבטא בצורה כללית את π :

$$\pi = \begin{pmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \pi_4 \\ \pi_5 \\ \pi_6 \end{pmatrix} = \pi_1 \begin{pmatrix} 1 \\ 1-p \\ r(1-p) \\ (1-p-r)(1-p) \\ (1-p-r)(1-p) \left(r + \frac{(1-q-s)(1-p+sr)}{(1-s)^2 + qs} \right) \\ \frac{(1-p-r)(1-p)(1-p+sr)}{(1-s)^2 + qs} \end{pmatrix}$$

נספח ג: מציאת התפלגות סטציונרית לאחר הצבת נתונים

הפולינום האופייני של המטריצה:

$$\lambda(\lambda - 1) \left(\lambda^4 - \frac{5}{16} \lambda^3 - \frac{33}{128} \lambda^2 - \frac{35}{256} \lambda - \frac{7}{512} \right)$$

נוסף על שני הערכים העצמיים שמצאנו לעיל, לפולינום זה יש ארבעה ערכים עצמיים שניתן למצוא בצורה נומרית, נסדרם במטריצה אלכסונית עם ערכים מקורבים:

$$J = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.12243 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.83804 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.20156 - 0.30436i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.20156 + 0.30436i \end{pmatrix}$$

את הווקטורים העצמיים נסדר במטריצת מעברי בסיסים:

$$S = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0.817 & 0 & -14.451 + 8.771i & -14.451 - 8.771i \\ 0 & 1 & -1.017 & 0 & 25.616 - 3.5105i & 25.616 + 3.5105i \\ -3 & 1 & -7.234 & 0 & 0.573 - 28.064i & 0.573 + 28.064i \\ 1 & 1 & 1.654 & 0.83804 & 2.460 - 21.244i & 2.460 + 21.244i \\ 0 & 1 & -1.888 & 0 & -0.887 - 6.821i & -0.887 + 6.821i \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

ונחשב מטריצה הופכית:

$$S^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -0.25 & 0.25 & 0.25 & -0.25 \\ 0.308 & 0.154 & 0.019 & 0.058 & 0.058 & 0.404 \\ 0.002 & -0.009 & 0.009 & 0.028 & -0.117 & 0.869 \\ -0.292 & -0.174 & -0.026 & -0.078 & 0.064 & 0.506 \\ -0.009 - 0.007i & 0.015 - 0.005i & -0.001 + 0.005i & -0.004 + 0.016i & -0.002 - 0.002i & 0.002 - 0.006i \\ -0.009 + 0.007i & 0.015 + 0.005i & -0.001 - 0.005i & -0.004 - 0.016i & -0.002 + 0.002i & 0.002 + 0.006i \end{pmatrix}$$

כעת נוכל לחשב את $\lim_{n \rightarrow \infty} P^n$ בצורה מפורשת:

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} P^n &= S * \lim_{n \rightarrow \infty} J^n * S^{-1} = S \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} S^{-1} \\ &= S \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.308 & 0.154 & 0.019 & 0.058 & 0.058 & 0.404 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P^n = S^{-1} * \lim_{n \rightarrow \infty} J^n * S = \begin{pmatrix} 0.308 & 0.154 & 0.019 & 0.058 & 0.058 & 0.404 \\ 0.308 & 0.154 & 0.019 & 0.058 & 0.058 & 0.404 \\ 0.308 & 0.154 & 0.019 & 0.058 & 0.058 & 0.404 \\ 0.308 & 0.154 & 0.019 & 0.058 & 0.058 & 0.404 \\ 0.308 & 0.154 & 0.019 & 0.058 & 0.058 & 0.404 \\ 0.308 & 0.154 & 0.019 & 0.058 & 0.058 & 0.404 \end{pmatrix}$$

ולמסקנה, הווקטור המייצג את ההתפלגות הסטציונרית יהיה

$$\vec{\pi} \approx \begin{pmatrix} 0.308 \\ 0.154 \\ 0.019 \\ 0.058 \\ 0.058 \\ 0.404 \end{pmatrix}$$

נספח א: שכיחויות לגדלי טווחי קביעות של וסת חצי קבוע

טבלת שכיחויות לכלל הנשים (גודל טווח בספירת "עד ועד בכלל"):

גודל טווח	שכיחות	שכיחות יחסית
2	26	10.5%
3	36	14.5%
4	40	16.1%
5	34	13.7%
6	23	9.3%
7	22	8.9%
8	14	5.6%
9	15	6.0%
10	9	3.6%
11	7	2.8%
12	7	2.8%
13	4	1.6%
14	2	0.8%
15	1	0.4%
16	2	0.8%
17	3	1.2%
19	1	0.4%
23	1	0.4%
26	1	0.4%
סכום	248	100%

טבלת שכיחויות לנשים שקובעות וסת מסוג S_{31} :

גודל טווח	שכיחות	שכיחות יחסית
2	12	21.4%
3	14	25.0%
4	13	23.2%
5	11	19.6%
6	3	5.4%
7	1	1.8%
9	1	1.8%
10	1	1.8%
סכום	56	100%

טבלת שכיחויות לנשים שקובעות וסת מסוג S_{32} בלבד :

שכיחות יחסית	שכיחות	גודל טווח
6.3%	8	2
12.5%	16	3
14.1%	18	4
10.2%	13	5
12.5%	16	6
13.3%	17	7
7.0%	9	8
7.0%	9	9
4.7%	6	10
3.1%	4	11
1.6%	2	12
1.6%	2	13
1.6%	2	14
1.6%	2	16
1.6%	2	17
0.8%	1	19
0.8%	1	23
100%	128	סכום

טבלת שכיחויות לנשים שקובעות וסת מסוג S_{33} בלבד :

שכיחות יחסית	שכיחות	גודל טווח
12.5%	1	2
12.5%	1	5
12.5%	1	7
25.0%	2	8
12.5%	1	9
12.5%	1	11
12.5%	1	15
100%	8	סכום

טבלת שכיחויות לנשים שקובעות וסת מסוג S_{32} ומסוג S_{33} :

שכיחות יחסית	שכיחות	גודל טווח
8.9%	5	2
10.7%	6	3
16.1%	9	4
16.1%	9	5
7.1%	4	6
5.4%	3	7
5.4%	3	8
7.1%	4	9
3.6%	2	10
3.6%	2	11
8.9%	5	12
3.6%	2	13
1.8%	1	17
1.8%	1	26
100%	56	סכום

נספח ב: שכיחויות והסתברויות מעברים עבור תת מערכת לנשים שקבעו וסת חצי קבוע עם טווח מתחת

ל-29 יום

מצב מקור	מצב יעד	שכיחות	שכיחות יחסית
S11	S21	33	82.5%
S11	S22	7	17.5%
S12	S22	15	100%
S13	S22	4	100%
S21	S31	27	84%
S21	S32	5	16%
S22	S32	24	100%
S31	S11	13	30%
S31	S12	12	27%
S31	S13	0	0%
S31	S31	19	43%
S32	S11	18	26%
S32	S12	2	3%
S32	S13	2	3%
S32	S32	46	68%

נספח ג: שכיחויות והסתברויות מעברים עבור תת מערכת לנשים שקבעו וסת חצי קבוע עם טווח מעל 28 ימים וגם לנשים שקבעו וסת חצי קבוע עם טווח מעל 31 ימים.

מצב מקור	מצב יעד	שכיחות	שכיחות יחסית
S11	S21	0	0%
S11	S22	8	100%
S12	S22	17	100%
S13	S22	9	27%
S13	S23	24	73%
S22	S32	32	100%
S23	S32	1	4%
S23	S33	23	96%
S32	S11	8	10%
S32	S12	4	5%
S32	S13	10	12%
S32	S32	61	73%
S33	S11	1	2.4%
S33	S12	11	26.2%
S33	S13	8	19.0%
S33	S33	22	52.4%

1. A.M. Abdel-Moneim and F.W. Leysieffer: "Weak lumpability in finite Markov chains", Journal of Applied Probability 19.3 (1982) 685-691
2. M. Arévalo et al: "A fixed formula to define the fertile window of the menstrual cycle as the basis of a simple method of natural family planning", Contraception 60.6 (1999) 357-360
3. R.J. Aumann and Michael Maschler: "Game theoretic analysis of a bankruptcy problem from the Talmud", Journal of economic theory 36.2 (1985) 195-213
4. R.J. Aumann: "Risk Aversion in the Talmud", Economic Theory. Springer-Verlag. 21 2-3 (2003) 233-239
5. A.M.S Barreto and M.D. Fragoso: "Lumping the states of a finite Markov chain through stochastic factorization": IFAC Proceedings Volumes 44.1 (2011) 4206-4211
6. L. Bernstein et al: "The effects of moderate physical activity on menstrual cycle patterns in adolescence: implications for breast cancer prevention", British journal of cancer 55.6 (1987) 681-685
7. P. Bortot et al: "Sequential predictions of menstrual cycle lengths", Biostatistics 11.4 (2010) 741-755
8. P. Buchholz: "Exact and ordinary lumpability in finite Markov chains", Journal of applied probability 31.1 (1994) 59-75
9. P. Buchholz: "Hierarchical Markovian models: symmetries and reduction", Performance Evaluation 22.1 (1995) 93-110
10. P. Buchholz: "Structured analysis approaches for large Markov chains", Applied Numerical Mathematics 31.4 (1999) 375-404
11. C.J. Burke and M. Rosenblatt: "A Markovian function of a Markov chain", The Annals of Mathematical Statistics 29.4 (1958) 1112-1122
12. R. J. Fehring et al: "Randomized Comparison of Two Internet-Supported Methods of Natural Family Planning", Contraception 88.1 (2013) 24-30
13. B.N Feinberg and S.S. Chiu: "A method to calculate steady-state distributions of large Markov chains by aggregating states", Operations Research 35.2 (1987) 282-290
14. R. Fitzpatrick: "Thermodynamics & statistical mechanics", University of Texas at Austin (2001)
15. K. Fukaya et al: "The forecasting of menstruation based on a state-space modeling of basal body temperature time series", Statistics in Medicine, 36.21 (2017), 3361-3379
16. J.E. Garcia et al: "Prediction of the time of ovulation", Fertility and sterility 36.3 (1981) 308-315
17. C. Gattringer and C. Lang: "Quantum chromodynamics on the lattice: an introductory presentation", Springer Science & Business Media (2009) ISBN 978-3-642-26095-7
18. Y. Guo et al: "Modeling menstrual cycle length using a mixture distribution", Biostatistics 7.1 (2006) 100-114

19. S.D. Harlow and G.M. Matanoski: "The Association between Weight, Physical Activity, and Stress and Variation in the Length of the Menstrual Cycle", *Am J Epidemiol* 133.1 (1991) 38-49
20. S.D. Harlow and S.L. Zeger: "An application of longitudinal methods to the analysis of menstrual diary data", *Journal of Clinical Epidemiology* 44 (1991) 1015–1025
21. S.D. Harlow et al: "Epidemiology of menstruation and its relevance to women's health", *Epidemiologic Reviews* 17.2 (1995) 265-86
22. S.D. Harlow and O.M. Campbell: "Menstrual dysfunction: a missed opportunity for improving reproductive health in developing countries", *Reproductive health matters* 8.15 (2000) 142-147
23. S.D. Harlow, X. Lin and M.J. Ho: "Analysis of menstrual diary data across the reproductive life span applicability of the bipartite model approach and the importance of within-woman variance", *Journal of Clinical Epidemiology* 53 (2000), 722-733
24. H. Hermanns and J.P. Katoen: "The how and why of interactive Markov chains", *International Symposium on Formal Methods for Components and Objects* 6286 (2009) 311–337
25. X. Huang et al: "Modelling menstrual cycle length and variability at the approach of menopause by using hierarchical change point models", *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)* 63.3 (2014) 445-466
26. A.M.Z Jukic et al: "Accuracy of Reporting of Menstrual Cycle Length", *American journal of epidemiology* 167.1 (2007), 25-33
27. J.G. Kemeny, J.L. Snell: "Finite Markov Chains", New York Berlin Heidelberg Tokyo: Springer-Verlag (1976 2nd edition) ISBN 978-0-387-90192-3
28. M.L. King, X. Zhang, M. Akram: "Hypothesis testing based on a vector of statistics", *Journal of Econometrics* 219.2 (2020), 425-455
29. C. Knight: "Blood relations: Menstruation and the origins of culture", Yale University Press (1995) ISBN 978-030-0049-11-4
30. P. Kutchukian et al: "FOG: Fragment Optimized Growth Algorithm for the de Novo Generation of Molecules occupying Druglike Chemical", *ournal of Chemical Information and Modeling* 49.7 (2009) 1630–1642
31. L. Lacey: "Lunaception: A feminine odyssey into fertility and contraception", New York: Coward, McCann & Geoghegan (1975) ISBN 978-069-8106-74-1
32. N.M. Laird et al: "Random effects models for longitudinal data: an overview of recent results", *Biometrics* (1982) 963–74
33. E.A. Lenton et al: "Normal variation in the length of the luteal phase of the menstrual cycle: identification of the short luteal phase", *British Journal of Obstetrics and Gynaecology* 91 (1984) 685-689
34. X. Lin et al: "Linear mixed models with heterogeneous within-cluster variances", *Biometrics* (1997) 910-923

35. L. Lisabeth et al: "Sampling strategies for prospective studies of menstrual function", *American journal of epidemiology* 159.8 (2004) 795-802
36. Y. Liu et al: "Factors affecting menstrual cycle characteristics", *American Journal of Epidemiology* 160.2 (2004) 131-140
37. K.J. Lum et al: "Accounting for length-bias and selection effects in estimating the distribution of menstrual cycle length", *Biostatistics* 16.1 (2015) 113–128
38. K.J. Lum et al. "A Bayesian joint model of menstrual cycle length and fecundity", *Biometrics* 72.1 (2016) 193-203
39. A.K. Manatunga et al: "Statistical Issues Related to Modeling Menstrual Length", *Proceedings of the American Statistical Association, Section on Statistics in Epidemiology* (2005)
40. J. Marshall: "Planning for a family. An atlas of mucothermic charts." Faber and Faber, London, 2nd ed (1979) ISBN 978-057-1049-83-7.
41. M.K McClintock: "Menstrual synchrony and suppression", *Nature* 229 (1971) 244-245
42. A.C. McLain et al: "A Joint Mixed Effects Dispersion Model for Menstrual Cycle Length and Time-to-pregnancy", *Biometrics* 68 (2012) 648-656
43. E. Merzbach: "Using Lotteries in Logic of Halakhah Law. The Meaning of Randomness in Judaism", *Studia Humana* 6.2 (2017), 107-115
44. B. Nan et al: "A Varying-Coefficient Cox Model for the Effect of Age at a Marker Event on Age at Menopause", *Biometrics* 61.2 (2005) 576-583
45. P. Paramsothy: "Menstrual Cycle Patterns and Their Determinants during the Menopausal Transition among a Multiethnic Cohort of Women" (2012)
46. N.F. Peng: "On weak lumpability of a finite Markov chain": *Statistics & probability letters* 27.4 (1996) 313-318
47. A. Poyastro Pinheiro et al: "Patterns of menstrual disturbance in eating disorders", *International Journal of Eating Disorders* 40.5 (2007) 424-434
48. D. Pratas et al: "An alignment-free method to find and visualise rearrangements between pairs of DNA sequences", *Scientific reports*, 5.1 (2015) 1-9
49. D.M. Quadagno et al: "Influence of male social contacts, exercise and all-female living conditions on the menstrual cycle", *Psychoneuroendocrinology* 6.3 (1981) 239-244
50. N.L. Rabinovitch: "Probability in the Talmud", *Biometrika* 56 (1969) 437-441
51. N.L. Rabinovitch: "Studies in the History of Probability and Statistics. XXII: Probability in the Talmud", *Biometrika* 56.2 (1969) 437-441
52. N.L. Rabinovitch: "Combinations and probability in Rabbinic Literature", *Biometrika* 57 (1970) 203-205
53. N.L. Rabinovitch: "Probability and statistical inference in ancient and medieval Jewish literature", University of Toronto Press (1973) ISBN 978-080-2018-62-5
54. N.L. Rabinovitch: "Early antecedents of error theory", *Archive for History of Exact Sciences* 13.4 (1974) 348-358

55. N.L. Rabinovitch: "The one and the many: Early stochastic reasoning in philosophy", *Annals of Science* 34.4 (1977) 331-344
56. L. Rogers et al: "Markov functions", *The Annals of Probability* 9.4 (1981) 573-582
57. M. Rosenblatt: "Functions of a Markov process that are Markovian", *Journal of Mathematics and Mechanics* (1959) 585-596
58. A.S. Rowland et al: "Influence of medical conditions and lifestyle factors on the menstrual cycle", *Epidemiology* 13.6 (2002) 668-674
59. G. Rubino: "On weak lumpability in Markov chains", *Journal of Applied Probability* 26.3 (1989) 446-457
60. G. Rubino and B. Sericola: "A finite characterization of weak lumpable Markov processes. Part I: The discrete time case", *Stochastic processes and their applications* 38.2 (1991) 195-204
61. G. Rubino and B. Sericola: "A finite characterization of weak lumpable Markov processes. Part II: The continuous time case", *Stochastic processes and their applications* 45.1 (1993) 115-125
62. L.H. Ryder: "Quantum field theory", Cambridge university press (1996) ISBN 0-521-47242-3
63. P.J. Schweitzer: "Aggregation methods for large Markov chains", *Proceedings of the International Workshop on Computer Performance and Reliability* (1983) 275-286
64. C.E. Shannon: "A mathematical theory of communication", *ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review*, 5.1 (2001) 3-55
65. U. Sumita and M. Rieders: "Lumpability and time reversibility in the aggregation-disaggregation method for large Markov chains", *Stochastic Models* 5.1 (1989) 63-81
66. A. Weller et al: "Menstrual synchrony between mothers and daughters and between roommates", *Physiology & behavior* 53.5 (1993) 943-949
67. H.C. Wilson: "A critical review of menstrual synchrony research", *Psychoneuroendocrinology* 17.6 (1992) 565-591

- א. מ. אליהו: "דרכי טהרה השלם", מכון תורני דרכי הוראה לרבנים (תשע"א) מסת"ב 978-965-7535-07-3
- ב. נ.מ. גוטל: "השתנות הטבעים בהלכה", ירושלים, יחדיו (תשנ"ה)
- ג. ט. גנזל וד. צימרמן: "יוסת הגוף – היבט הלכתי ורפואי", תחומין כ' (תש"ס) 363-375
- ד. ל. דקל וע. מרצבך: "חישוב אומדנה הלכתית עתידית בעזרת תהליכים סטוכסטיים", בד"ד 31 (2016) 29-60
- ה. נ. טיילור וע. מרצבך: "תפילה להצלחה בהגרלה", תחומין טז (תשנ"ו) 443-448
- ו. נ. טיילור וע. מרצבך: "הגרלה בעולם התפילה", הגיון ד' (תשנ"ז) 105-112
- ז. ע. יוסף: "ספר טהרת הבית", א.ב. ירושלים (תשמ"ח)
- ח. ש. לוי: "שערי אורה: הלכות נידה", קורן (תשע"ד) מסת"ב 978-965-5261-68-4
- ט. ע. מרצבך: "תהליכים מקריים לפי תפיסת חז"ל", הגיון א' (תשמ"ט) 31-38
- י. ע. מרצבך וב. סינגר: "העיר הקרובה בסוגית העגלה הערופה", הגיון ב' (תשנ"ג) 76-84
- יא. ע. מרצבך: "על מקריות ואקראיות", הגיון ג', (תשנ"ו) 48-51
- יב. ע. מרצבך ור. מילר: "חישוב הסתברותי והיבט רוחני בסוגיית חמישה ולדות שהתערבו", הגיון ג' (תשנ"ו) 155-160
- יג. ע. מרצבך: "הטלת גורל להכרעות משפטיות והלכתיות", תחומין כד (תשס"ד) 460-465
- יד. ע. מרצבך: "הסטטיסטיקה והברכה הסמויה מן העין", בד"ד 2 (1996) 5-10
- טו. ע. מרצבך: "על-פי הגורל תחלק", אלף אפס 5 (1996) 16-18
- טז. ע. מרצבך: "הגיון הגורל", ראובן מס (תשס"ט) מסת"ב 978-965-09-0278-0
- יז. ע. מרצבך וי. הרשקוביץ: "בענין חזקת ג' פעמים", ישורון (תשע"א) 711-740
- יח. ע. מרצבך וא. קליין: "בדיקת ירקות מתולעים באספקלריה סטטיסטית", תחומין לו (תשע"ו) 470-476
- יט. ש.א. קידר: "שו"ת היכל שלמה הלכות נדה", עפרה (תשע"ו)
- כ. נ.א. רבינוביץ: "הערכה מדעית כיסוד לפסיקת הלכה", תחומין ח' (תשמ"ז) 435-453
- כא. נ.א. רבינוביץ: "סבירות והסתברות בספרות חז"ל והראשונים", מעליות (תשע"ח) מסת"ב 978-965-417-046-8
- כב. ד. רוס: "אמינות דיווחים על וסתות בהקשר הלכתי", Functional differential equations, 26.1-2 (2019) 1-13
- כג. ד. רוס: "שרשרת מרקוב לווסת ההפלגה", בד"ד 36, (תשפ"ב) 77-104

Abstract

Prediction of the duration of the menstrual cycle is an area of study that has concerned and engaged numerous researchers since ancient times. In the literature of Jewish law, there are many rules that specify the dates on which it is estimated that menstruation will occur, these rules are included in the laws of menstruation.

This study is the first to examine these estimates with modern statistical tools and lays the foundation for a probabilistic and statistical modelling of the various circumstances described in the halakhic literature.

Chapter A examines the reliability of the testimony of women in online surveys on the particulars of their menstrual cycles and presents a probabilistic model serving as a tool for validating data.

Chapters B-D examine the prevalence of the various phenomena described in the halakhic literature in a controlled research database. A simulation is used to reject the null hypothesis, that the results obtained could have been randomly obtained, and the quality of menstrual prediction is examined according to the general rules of the laws of menstruation.

In chapters E and F, statistical tests are performed to ascertain the dependence and variance between the types of phenomena.

Chapter G presents and investigates a probabilistic model describing the halakhic statuses of the phenomenon called fixed difference menstruation.

Chapter H presents similar models constructed with a statistical approach, on the basis of the data from the database, describing the halakhic statuses of the phenomena called semi-fixed menstruation.

Ariel University
Faculty of natural sciences

**Probabilistic and statistical analysis of the menstrual cycle
in Jewish religious laws aspect**

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the
degree Doctor of Philosophy

By

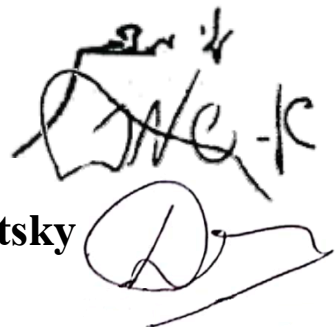
Dvir Jacob Ross

This work was prepared under the supervision of

Prof. Ely Merzbach

Dr. Efraim Shmerling

Prof. Alexander Domoshnitsky

Handwritten signatures of the three supervisors. The first signature is at the top, the second is in the middle, and the third is at the bottom, all written in black ink.

Submitted to the Senate of Ariel University

May 2022